



TUGAS AKHIR - TM 095502

**PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA AIR BERSIH
PADA GEDUNG PUSAT RISET ITS SURABAYA**

**NISRINA SAFIRA SARI
NRP 2114 030 050**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
NIP 19620216 199512 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



TUGAS AKHIR - TM 095502

PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA AIR BERSIH PADA GEDUNG PUSAT RISET ITS SURABAYA

**NISRINA SAFIRA SARI
NRP 2114 030 050**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
NIP 19620216 199512 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT - TM 095502

**WATER PUMP INSTALLATION REPLANNING
AT RESEARCH CENTRE ITS SURABAYA
BUILDING**

**NISRINA SAFIRA SARI
NRP 2114 030 050**

**Counselor Lecturer
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
NIP 19620216 199512 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocasi
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

**PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA AIR
BERSIH PADA GEDUNG PUSAT RISET ITS
SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :

NISRINA SAFIRA SARI

NRP. 2114 030 050

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
NIP. 19620216 199512 1 001

**SURABAYA
JULI 2017**

PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA AIR BERSIH PADA GEDUNG PUSAT RISET ITS SURABAYA

Nama Mahasiswa : Nisrina Safira Sari
NRP : 2114 030 050
Departemen : Teknik Mesin Industri
FV-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT

Abstrak

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat berguna bagi setiap makhluk hidup. Kebutuhan air pada manusia akan bertambah besar sesuai dengan perkembangan teknologi yang terjadi di masyarakat dengan sistem pengaturan dan pengolahan yang efektif dan efisien dengan menggunakan sistem plambing.

Sistem penyaluran air di gedung perkantoran dapat bekerja jika didukung dengan sistem instalasi pompa. Dalam pemilihan pompa dan sistem perpipaannya harus disesuaikan dengan kebutuhan di gedung perkantoran, penting untuk dimengerti besar kapasitas, diameter pipa, dan head instalasi.

Dari hasil perhitungan didapatkan kapasitas aliran sebesar $2,571 \text{ m}^3/\text{menit}$ dan head instalasi total sebesar 65,757 m. Sehingga dipilih jenis pompa sentrifugal 4 stage dengan putaran 2951 rpm tipe Grundfos CRN 90 4-2.

Kata kunci : plambing, kapasitas, head pompa

WATER PUMP INSTALATION REPLANING AT RESEARCH CENTRE ITS SURABAYA BUILDING

Name : Nisrina Safira Sari
NRP : 2114 030 050
Departement : Teknik Mesin Industri
FV-ITS
Consellor lecture : Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT

Abstract

Water is one of the natural resources which is very good for each mortal. Amount of water required for human being will growing larger as according to growth of technology that happened in society with arrangement system and efficient and effective processing by using system of plambing.

Water suplaying system in a university can running properly if supported with pump instalation system. In order to choose punp and pipe system which approprite with aniversity necessary, important to understand about peak load capasity, head and diameter pipe.

From the calculation result, conclude that flow capacity is 2,571 m³/minute and total head instalation is 65,757 m. So, centrifugal pump with 4 stages, rotation is 2951 rpm, type Grundfos CRN 90 4-2 is the best pump for instalation.

Keyword : plumbing, capacity, head pump

KATA PENGANTAR

Puji syukur Saya panjatkan kehadiran Allah SWT, serta tak lupa sholawat dan salam saya ucapkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia Allah SWT sehingga, penulis buku ini dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan tugas akhir dengan judul: **PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA AIR BERSIH PADA GEDUNG PUSAT RISET ITS SURABAYA.**

Penyelesaian tugas akhir ini merupakan syarat akademis yang harus ditempuh di departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak dorongan dan bantuan yang penulis dapatkan selama Penyusunan tugas akhir ini sehingga terselesaikannya dengan beberapa kekurangan dan kelebihan. Pada kesempatan kali ini pekenankanlah penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. Selaku Dosen pembimbing sekaligus Ketua Departemen Teknik Mesin Industri yang telah dengan sabar dan telaten member bimbingan serta ilmu-ilmu yang bermanfaat sehingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Ir Suhariyanto MT. Selaku koordinator tugas akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Ir. Denny ME Soedjono MT, selaku dosen wali selama saya kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak-Ibu Dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan tugas akhir ini. Serta seluruh Dosen dan staf pengajar Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah memberikan ilmunya dan membantu semua selama duduk dibangku kuliah.
5. Mama, Bapak, Mas Alifio Tanaryodi serta seluruh keluarga penulis yang telah memberi dukungan moril

dan materiil serta do'a yang tak pernah putus selama ini.

6. Teman-teman D3MITS khususnya keluargaku 2014, terimakasih atas segala bantuannya.
7. Serta semua pihak yang belum tertulis dan yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang telah berperan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Semoga segala keikhlasan dan beribu kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT.

Saya sebagai makhluk Allah SWT, manusia biasa, saya menyadari bahwasannya penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan serta kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu , saya mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penulis dalam kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK INDONESIA	iv
ABSTRAK INGGRIS	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Pompa.....	4
2.2 Klasifikasi Pompa.....	4
2.2.1 Pompa <i>Positive Displacement</i>	5
2.2.2 Pompa <i>Non Positive Displacement (Dynamic)</i>	5
2.2.2.1 Pompa Sentrifugal.....	6
2.2.2.2 Komponen Pompa Sentrifugal	6
2.2.2.3 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal.....	8
2.2.2.4 Pompa Aksial	9
2.3 Penentuan Putaran Spesifik dan Bentuk Impeller	10
2.4 Fungsi dan Jenis Alat Plambing	11
2.5 Sistem Penyediaan Air Bersih.....	12
2.5.1 Sistem Tangki Atap.....	12

2.5.2 Sistem Booster Gedung (<i>Booster System</i>)	13
2.5.3 Tekanan Unit Beban Plambing.....	14
2.6 Kecepatan Aliran	15
2.7 Permintaan Air (<i>Water Demand</i>).....	15
2.7.1 Penaksiran Berdasarkan Jenis dan Jumlah Alat Plambing.....	16
2.7.2 Penaksiran Berdasarkan Unit Beban Alat Plambing (UBAP).....	17
2.8 Perhitungan Tangki Air	19
2.8.1 Tangki Air Bawah (<i>Ground Reservoir</i>).....	19
2.8.2 Tangki Air Atap (<i>Roof Tank</i>)	19
2.8.2.1 Posisi Tangki Air Atap	20
2.9 Hukum Pertama Termodinamika.....	21
2.10 Tinggi Tekan (<i>Head</i>)	22
2.10.1 <i>Head</i> Potensial.....	22
2.10.2 <i>Head</i> Kecepatan / Kinetik	22
2.10.3 <i>Head</i> Tekanan.....	22
2.11 Persamaan Energi	23
2.12 Head Efektif Instalasi Pompa	26
2.12.1 <i>Head</i> Statis	27
2.12.2 <i>Head</i> Dinamis.....	29
2.12.2.1 <i>Velocity Head</i>	29
2.12.2.2 <i>Head Loss Total</i>	30
2.12.2.2.1 <i>Head Loss Mayor</i>	30
2.12.2.2.2 <i>Head Loss Minor</i>	31
2.13 <i>Net Positive Suction Head</i> (NPSH)	32
2.13.1 <i>Net Positive Suction Head Available</i> (NPSH _A)	32
2.13.2 <i>Net Positive Suction Head Required</i> (NPSH _R).....	32
2.14 Daya Penggerak.....	33
2.14.1 Daya Fluida (<i>WHP</i>)	33
2.14.2 Daya Poros (P _{shaft}).....	33

2.14.2.1 Efisiensi Standar Pompa (η_p).....	34
2.14.3 Daya Nominal Penggerak Mula.....	34
2.15 Pemilihan Pompa Berdasarkan Perhitungan	
<i>Head</i> dan Kapasitas.....	35
2.16 Kurva Karakteristik Pompa.....	36
2.16.1 Karakteristik Utama	37
2.16.2 Karakteristik Kerja	37
2.16.3 Karakteristik <i>Universal</i>	38
2.16.4 Titik Operasi Pompa	39
2.17 <i>Software Pipe Flow Expert</i>	40

BAB III METODOLOGI

3.1 Persiapan Awal.....	42
3.2 Pengambilan Data	42
3.3 Perhitungan	43
3.3.1 Tahapan Penaksiran Kebutuhan Air Pada Unit Beban.....	44
3.3.2 Tahapan Penghitungan Tangki Air	44
3.3.3 Tahapan Penghitungan Dimensi Pipa	44
3.3.4 Pemilihan Pompa	45
3.4 Data-data Perhitungan.....	45
3.4.1 Data <i>Fitting</i> dan <i>Accessory</i>	45
3.5 <i>Flow Chart</i>	45
3.5.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	46
3.5.2 Diagram Alir Penghitungan Numerik	48

BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN

4.1 Umum.....	49
4.2 Gambar dan Data.....	49
4.3 Perhitungan Sistem DIstribusi Air Bersih.....	50
4.3.1 Penaksiran Kebutuhan Air Bersih.....	50

4.3.2 Pemilihan Sistem Penyediaan dan Pipa Air Bersih	55
4.3.2.1 Pemilihan Sistem Penyediaan Air Bersih.....	55
4.3.3 Perhitungan Tangki Air	55
4.3.3.1 Volume Tangki Bawah (Reservoar Bawah).....	56
4.3.3.2 Volume Tangki Atas (Reservoar Atas).....	56
4.3.4 Kapasitas Pompa	57
4.3.5 Perencanaan Dimensi Pipa	57
4.3.5.1 Gambar Instalasi Pompa Utama	58
4.3.5.2 Pipa Suction.....	58
4.3.5.2.1 <i>Head Loss</i> Pada Pipa Suction	59
4.3.5.3 Pipa Discharge.....	61
4.3.5.3.1 <i>Head Loss</i> Pada Pipa Discharge	61
4.4 Penentuan Pompa	62
4.4.1 <i>Head</i> Efektif Instalasi	63
4.4.2 Pemilihan Pompa.....	63
4.4.2.1 Pertimbangan Jenis dan Tipe Pompa.....	63
4.4.2.2 Pertimbangan Letak Poros Pompa.....	66
4.4.2.3 Perhitungan Daya dan Efisiensi.....	67
4.4.2.4 Pemilihan Jenis dan Titik Kerja Pompa	70
4.5 Perhitungan Secara Pemodelan Numerik	74
4.6 Perbandingan <i>Head</i> Efektif Teoritis (H_{eff}) dengan <i>Head</i> Efektif Numerik ($H_{\text{eff PFE}}$)	74

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran	78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian pompa sentrifugal.....	6
Gambar 2.2 Bagian aliran fluida di dalam pompa sentrifugal..	8
Gambar 2.3 Putaran spesifik dan bentuk impeller	11
Gambar 2.4 Sistem dengan tangki atap	13
Gambar 2.5 Sistem booster gedung.....	14
Gambar 2.6 Hubungan unit beban alat plambing dengan laju aliran	18
Gambar 2.7 Posisi tangki atap.....	21
Gambar 2.8 Metode Mengukur Head.....	23
Gambar 2.9 Control Volume dan koordinat untuk analisis aliran energy yang melewati elbow 90°.....	23
Gambar 2.10 Instalasi Suction Lift	26
Gambar 2.11 Efisiensi standar pompa.....	34
Gambar 2.12 Daerah kerja beberapa jenis konstruksi pompa	36
Gambar 2.13 Karakteristik Utama	37
Gambar 2.14 Karakteristik Kerja	38
Gambar 2.15 Karakteristik Universal.....	39
Gambar 2.16 Titik Operasi Pompa.....	40
Gambar 2.17 <i>Pipe Flow Expert</i>	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	46
Gambar 3.2 Diagram Alir <i>Pipe Flow Expert</i>	48
Gambar 4.1 Instalasi pompa utama	58
Gambar 4.2 Pemilihan jenis pompa	64
Gambar 4.3 putaran spesifik dan bentuk impeller.....	65
Gambar 4.4 Efisiensi standard pompa sentrifugal menurut n_s	68
Gambar 4.5 Grafik pemilihan pompa utama.....	71
Gambar 4.6 Pompa Grundfos CRN 90 4-2	71
Gambar 4.7 Kurva performa pompa grundfos CRN 90 4-2...	73
Gambar 4.8 Instalasi Pompa.....	75
Gambar 4.9 Hasil Setelah Di <i>Calculate</i>	76
Gambar 4.10 Grafik Pompa setelah di <i>calculate</i>	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tekanan yang dibutuhkan alat plambing (P_{gage}).....	15
Tabel 2.2 Faktor pemakaian (%) dan jumlah alat plambing ..	16
Tabel 2.3 Pemakaian air tiap alat plumbing, laju aliran	16
Tabel 2.4 Nilai unit beban alat plambing	18
Tabel 2.5 Faktor Cadangan	35
Tabel 2.6 Efisiensi Transmisi	35
Tabel 4.1 Jenis dan jumlah alat plambing tiap lantai	50
Tabel 4.2 Unit beban alat plambing (UBAP) tiap lantai	52
Tabel 4.3 Perbandingan metode penaksiran kebutuhan air.....	55
Tabel 4.4 Perbandingan karakteristik pompa horizontal dan pompa vertical	66
Tabel 4.4 Faktor Cadangan	69
Tabel 4.5 Efisiensi Transmisi	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber kehidupan bagi seluruh makhluk hidup di dunia. Kebutuhan manusia akan air pada saat ini sangatlah besar baik untuk dikonsumsi maupun untuk menunjang kehidupan manusia. Banyaknya jumlah pengguna air bersih dan pembangunan gedung saat ini, maka kebutuhan air bersih menjadi sebuah kebutuhan primer yang penting untuk meningkatkan kualitas hidup manusia. Seiring meningkatnya jumlah penduduk dunia dan pembangunan gedung-gedung baru, maka perlu dibuat suatu sistem perpipaan guna menyalurkan air bersih ke tiap unit beban, sehingga pemakai dapat menggunakan air sesuai dengan yang dibutuhkan.

Untuk mengatasi permasalahan pada instalasi perpipaan suatu gedung yang digunakan baik sebagai distribusi air bersih maupun instalasi pemadam kebakaran, cara yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan perhitungan debit dan head efektif instalasi yang terjadi setiap pipa di dalam instalasi pipa secara tepat. Sistem perpipaan merupakan suatu sistem jaringan pipa yang mengalirkan fluida ke beberapa unit beban dengan kapasitas aliran dan head tertentu untuk tiap unit beban.

Dengan melakukan perencanaan instalasi plambing sistem kebutuhan air bersih di Gedung Pusat Riset ITS Surabaya secara efektif dan efisien sesuai dengan kebutuhan merupakan salah satu factor yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan hidup terutama yang erat kaitannya dengan pelestarian sumber daya penyediaan air pun merupakan salah satu factor yang penting bagi kepuasan pengguna gedung.

Pada tugas akhir ini difokuskan pada perhitungan instalasi plambing sistem perpipaan pada distribusi air bersih di gedung Pusat Riset ITS Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam analisa perhitungan ulang instalasi air bersih ini permasalahan utama yang dihadapi adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana agar debit aliran yang dibutuhkan setiap hari di setiap unit beban instalasi air bersih bisa terpenuhi.
- 2) Bagaimana head efektif instalasi perpipaan air bersih.
- 3) Bagaimana memilih pompa yang sesuai dengan yang dibutuhkan pada sistem air bersih dan pendistribusian air pada unit beban sistem perpipaan air bersih.

1.3 Tujuan

Dengan permasalahan yang ada di gedung Pusat Riset ITS Surabaya, maka perlu untuk menemukan solusi yang tepat dari permasalahan tersebut. Adapun tujuan dari permasalahan ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kapasitas air bersih yang dibutuhkan pada setiap unit beban sehingga kebutuhan air bersih sehari-hari dapat dipenuhi.
2. Merencanakan diameter pipa yang digunakan sudah sesuai dengan kapasitas aliran.
3. Menentukan kapasitas tangki reservoir atas dan bawah.
4. Perhitungan head efektif instalasi air bersih.
5. Pemilihan pompa sesuai sehingga kebutuhan akan kapasitas dan head dapat dipenuhi.

1.4. Batasan Masalah

Permasalahan ini dibatasi pada perhitungan ulang instalasi penyediaan air bersih serta pompa yang akan digunakan pada gedung Pusat Riset ITS Surabaya. Aliran diasumsikan *steady-state*. Biaya investasi dan kelistrikan tidak dipermasalahkan pada penulisan tugas akhir ini, serta kemungkinan terjadinya getaran, perpindahan panas dan korosi diabaikan.

1.5. Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika penulisan yang dipakai dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah:

Bab I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian dan batasan masalah, dan Sistematika penulisan.

Bab II : DASAR TEORI

Dalam bab ini berisi mengenai teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum dan juga memuat rangkuman kajian teoritik terkait.

Bab III : METODOLOGI

Dalam bab ini menggambarkan dengan jelas data-data yang dipakai dalam perhitungan dan menggambarkan langkah analisa data.

Bab IV : ANALISA DAN PERHITUNGAN

Dalam bab ini terdiri dari perhitungan tentang masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini dan pembahasan dan pembahasan singkat mengenai hasil yang diperoleh, seperti perhitungan headloss, kapasitas dan kecepatan aliran, daya output pompa, $NPSH_a$.

Bab V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan penarikan kesimpulan dan pemberian saran. Kesimpulan memuat pernyataan singkat dan tepat dari hasil perhitungan dan pembahasan. Saran memuat masukan–masukan yang bermanfaat dan sebagai tinjauan untuk perhitungan berikutnya.

Lampiran

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi Pompa

Pompa adalah suatu alat atau pesawat yang digunakan untuk memindahkan fluida cairan dari suatu tempat yang rendah ke tempat lain yang lebih tinggi melalui suatu sistem perpipaan, sehingga tidak memungkinkan fluida tersebut untuk mengalir secara alami. Selain itu, pompa juga bertugas memberikan tekanan tertentu terhadap fluida, untuk maksud-maksud tertentu dalam suatu proses.

Dalam kerjanya, pompa menaikkan energi fluida atau cairan yang mengalir dari tempat bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan tinggi dan bersamaan dengan itu bisa mengatasi tekanan hidrolis sepanjang jalur perpipaan yang digunakan. Energi yang digunakan bisa dari motor listrik, motor bakar turbin uap, turbin gas maupun tenaga angin.

Dalam dunia industri, pompa merupakan sarana untuk mentransfer bahan mentah dan bahan setengah jadi. Ada juga pompa yang digunakan sebagai sarana sirkulasi fluida atau injeksi bahan adiktif untuk keperluan-keperluan proses produksi. Contoh aplikasi pompa didalam dunia industri yaitu sebagai transfer bahan mentah, bahan setengah jadi, sebagai sirkulasi cairan pendingin, injeksi bahan kimia, serta untuk keperluan lainnya.

2.2 Klasifikasi Pompa

Berdasarkan cara pemindahan atau transfer fluidanya, pompa dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu :

1. Pompa *Positive Displacement* (*Positive Displacement Pump*)
2. Pompa *Dynamic* (*Non Positive Displacement Pump*)

2.2.1 Pompa *Positive Displacement*

Pompa *Positive Displacement* adalah suatu pompa dimana perpindahan cairan selama proses kerjanya disertai perubahan volume ruang kerja pompa yang ditempati oleh cairan tersebut secara periodik akibatnya adanya satu elemen yang bergerak.

Pada saat elemen bergerak, baik dengan dorongan (translasi) maupun dengan gerak berputar, maka ruang kerja pompa akan berubah semakin kecil disertai dengan kenaikan tekanan yang mendorong cairan ketempat tertentu.

Ciri-ciri Pompa *Positive Displacement* adalah sebagai berikut:

1. *Head* yang dihasilkan relative lebih tinggi dengan debit atau kapasitas yang relatif lebih kecil.
2. Mampu beroperasi pada *suction* yang kering, sehingga tidak memerlukan proses *priming* pada awal operasi atau menjalankan pompa.

2.2.2 Pompa *Non Positive Displacement (Dynamic)*

Pada pompa *non positive displacement*, perpindahan zat cair disebabkan oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh adanya gerakan dari sudu-sudu atau *impeller*. Pompa ini mempunyai prinsip kerja yaitu mengkonversi energi kinetik yang selanjutnya dirubah menjadi energi potensial.

Ciri-ciri pompa *non positive displacement* adalah sebagai berikut :

1. *Head* yang dihasilkan relatif rendah dengan debit cairan yang lebih tinggi.
2. Tidak mampu beroperasi pada *suction* yang kering. Oleh sebab itu pipa *suction* harus berisi air penuh sampai *impeller* pompa dengan cara di *priming*.

Yang termasuk dalam jenis pompa *non positive displacement* adalah pompa sentrifugal.

2.2.2.1 Pompa Sentrifugal

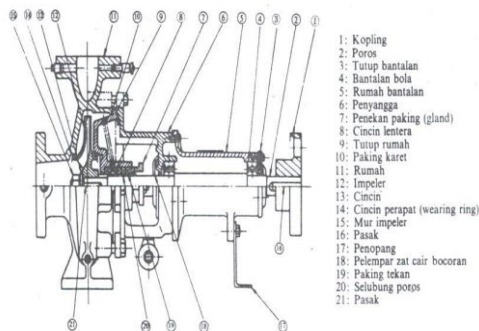
Pompa Sentrifugal adalah suatu pompa dengan impeller yang berputar untuk menaikkan momentum fluidanya. Prinsip kerjanya adalah dengan adanya putaran impeller, partikel-partikel fluida yang berada dalam *impeller* digerakkan dari *inlet suction* yang bertekanan vacuum ke *discharge* dengan tekanan atmosfer (atm). Gerakan ini menyebabkan tekanan yang ada dalam *inlet* terus menuju *casing* pompa selama fluida mengalir di dalam *impeller*. Partikel dipercepat dengan menaikkan tenaga kinetisnya. Energi kinetis ini dirubah menjadi energi potensial pada *casing*.

Berdasarkan arah alirannya, dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu :

- a. Pompa aliran aksial (*Axial Flow*)
- b. Pompa aliran radial (*Radial Flow*)
- c. Pompa aliran gabungan (*Mixed Flow*)

2.2.2.2 Komponen Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal pada dasarnya terdiri dari satu *impeller* atau lebih dan dilengkapi dengan sudu-sudu yang dipasang pada satu poros yang berputar. *Impeller* tersebut diselubungi atau ditutupi dengan sebuah rumah (*casing*).



Gambar 2.1 Bagian pompa sentrifugal

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, *Pompa dan Kompresor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan*)

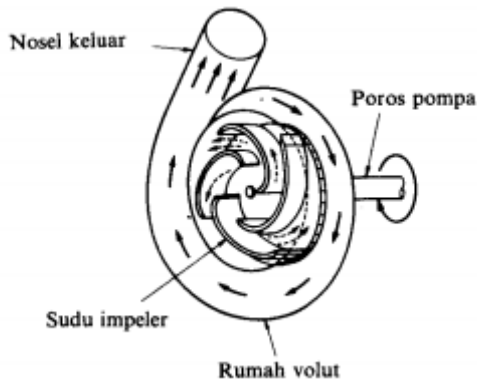
Pada umumnya, bagian pompa sentrifugal terdiri dari :

- *Impeller* : untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perbedaan tekanan antara *suction* dengan *discharge*, dan juga karena perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.
- *Casing*, karena didalamnya terdapat rumah keong (*Volute Chamber*) yang merupakan tempat memberikan arah aliran dari *impeller* dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*).
- *Stuffing Box*, berfungsi untuk menerima kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus *casing*.
- *Packing*, digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros.
- *Shaft*, berfungsi untuk meneruskan momen punter dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan *impeller* dan bagian-bagian berputar lainnya.
- *Shaft Sleeve*, berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box*.
- *Vane*, sudu *impeller* sebagai tempat berlalunya cairan pada *impeller*.
- *Eye of Impeller*, merupakan bagian sisi masuk pada arah isap *impeller*.
- *Casing wearing ring*, berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan *impeller* maupun bagian belakang *impeller*, dengan cara memperkecil celah antara *casing* dengan *impeller*.
- *Discharge Nozzle*, berfungsi untuk mengeluarkan cairan dari *impeller*. Di dalam *nozzle* ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan.

2.2.2.3 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Pada Gambar 2.5, impeller digunakan untuk mengangkat atau melemparkan fluida atau zat cair dari *suction* menuju *discharge*. Daya dari motor diberikan kepada poros untuk memutar impeller yang ada di dalam *casing*. Fluida yang ada di dalam impeller akan terlempar ke atas akibat dari sudu yang berputar. Karena timbul gaya sentrifugal, maka zat cair mengalir dari tengah impeller ke luar melalui saluran diantara sudu-sudu. Disini *head* tekanan fluida akan menjadi lebih tinggi. Demikian pula *head* kecepatannya bertambah besar karena fluida mengalami percepatan. Fluida yang keluar dari *impeller* ditampung oleh saluran berbentuk *volute* di keliling *impeller* dan disalurkan ke luar pompa melalui *nozle*. Di dalam *nozle* ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan.

Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan aliran fluida yang melewati *impeller* dari pompa sentrifugal :



Gambar 2.2 Bagian aliran fluida di dalam pompa sentrifugal
(Sumber : Sularso Tahara Haruo, *Pompa dan Kompresor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan*)

Keuntungan Pompa Sentrifugal dibandingkan pompa *Reciprocating* diantaranya adalah :

1. Karena tidak menggunakan mekanisme katup, pompa ini dapat digunakan untuk memompa fluida yang mengandung pasir atau Lumpur.
2. Aliran yang dihasilkan lebih kontinu (*continue*) bila dibandingkan dengan pompa *reciprocating* yang alirannya tersendat-sendat (*intermittent*).
3. Harga pembelian murah dan mudah perawatannya.
4. Karena tidak terjadi gesekan antara *impeller* dan *casingnya* sehingga keausannya lebih kecil.
5. Pengoperasiannya, pada putaran tinggi dapat dihubungkan langsung dengan motor penggerakannya.
6. Karena ukurannya relatif kecil, maka bobotnya ringan dan pondasinya kecil.

Kerugian Pompa Sentrifugal dibandingkan Pompa Reciprocating adalah sebagai berikut.

1. Untuk kapasitas kecil dan *head* yang besar, efisiensinya lebih kecil.
2. Agar pompa dapat bekerja lebih efisien, maka pompa harus bekerja pada titik kerjanya saja.
3. Untuk pompa dengan *head* yang tinggi dan kapasitas rendah sulit dibuat, terkecuali dibuat dengan tingkat yang lebih banyak (*multistage pump*)
4. memerlukan priming untuk menggerakkannya.

2.2.2.4 Pompa Aksial

Hal yang paling spesifik terjadi pada pompa aksial adalah arah aliran cairan melalui pompa betul-betul aksial. Pompa-pompa jenis ini relative lebih kecil dibandingkan kapasitasnya yang besar. Kapasitasnya antara 0,1 – 30 m³/s dan headnya relative rendah, sekitar 1 – 5 m kolom air.

Dalam operasinya pompa selalu terbenam dalam cairan yang dipompa. Porosnya bisa horizontal, vertical maupun miring. Pompa ini bisa mempunyai satu *impeller* atau mempunyai beberapa *impeller* yang digabung atau dijejer seperti halnya *impeller-impeller* pada pompa sentrifugal

multistage. pompa aksial dengan banyak *impeller* ini bisa mencapai head dengan kisaran 20 m.

Keuntungan pompa aksial adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi tinggi
2. Putarannya tinggi sehingga bisa dikopel langsung dengan motor penggerak.
3. Ukuran keseluruhan kecil disbanding kapasitasnya.
4. Pompa mampu memompa cairan yang kotor.
5. Mudah desainnya, *maintenancenya*, dan operasinya.

Kerugian pompa aksial adalah sebagai berikut:

1. *Head* yang dihasilkan rendah.

2.3. Penentuan Putaran Spesifik dan Bentuk Impeller






Dengan jenis pompa dan putaran pompa yang sudah diketahui dari penggerak motornya, sehingga dapat ditentukan putaran spesifiknya dengan menggunakan persamaan :

$$n_s = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

Dimana :

- n = jumlah putaran (rpm)
Q = kapasitas pompa (m^3 / min)
H = head pompa (m)

Dengan mengetahui putaran spesifik ini, dapat diketahui bentuk impeller seperti pada gambar berikut ini :

Centrifugal pumps			Mixed-flow impeller	Axial-flow impeller
Low-speed impeller	Moderate-speed impeller	High-speed impeller		
				
$n_{sf} = 40-80$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 2.5$	$n_{sf} = 80-150$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 2$	$n_{sf} = 150-300$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 1.5-1.4$	$n_{sf} = 300-600$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 1.2-1.1$	$n_{sf} = 600-2000$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 0.8$

Gambar 2.3 Putaran spesifik dan bentuk impeller
(Sumber : Khetagurov, *Marine Auxiliary Machinery and System*)

2.4. Fungsi dan jenis alat plambing

Fungsi dari peralatan plambing adalah pertama, untuk menyediakan air bersih ketempat-tempat yang dikehendaki dengan tekanan yang cukup. Dan yang kedua, membuang air kotor dari tempat-tempat tertentu tanpa mencemarkan bagian penting lainnya. Fungsi pertama dilaksanakan oleh sistem penyediaan air bersih, dan yang kedua dilaksanakan oleh sistem pembuangan.

Jenis peralatan plambing :

Dalam artian khusus istilah “peralatan plambing” meliputi :

1. Peralatan untuk penyediaan air bersih
2. Peralatan untuk penyediaan air panas
3. Peralatan untuk penyediaan pembuangan ven
4. Peralatan saniter (plambing fixture)

Dalam artian lebih luas peralatan plambing sering kali digunakan untuk mencakup :

1. Peralatan pemadam kebakaran
2. Peralatan pengolahan air kotor (tangki septic)
3. Peralatan pemyediaan gas
4. Peralatan dapur

5. Peralatan untuk mencuci
6. Peralatan untuk mengolah sampah
7. Berbagai instalasi lainnya

Hal tersebut meliputi instalasi pipa untuk penyediaan zat asam, zat lemas, air murni, air steril, dan perpipaan vakum.

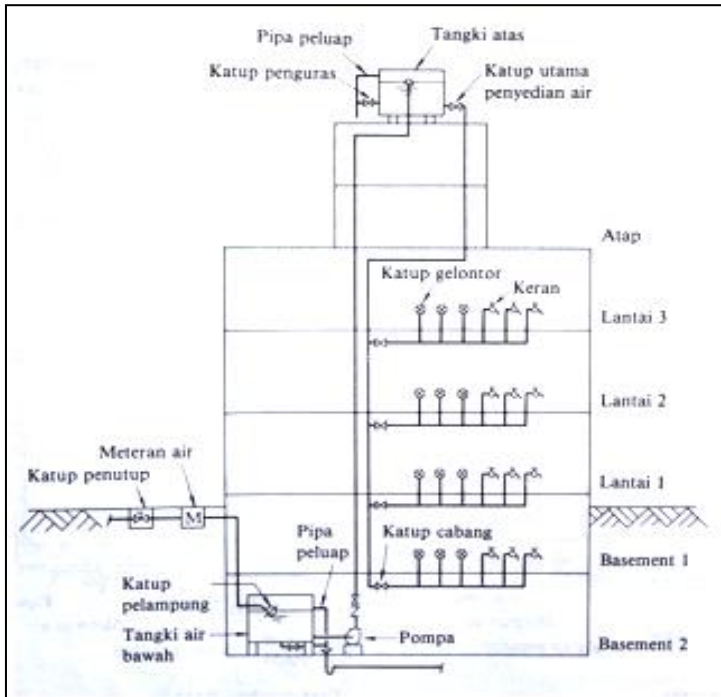
2.5. Sistem Penyediaan Air Bersih

2.5.1. Sistem tangki atap

Dalam sistem ini air ditampung lebih dahulu dalam tangki bawah (dipasang pada lantai terendah bangunan atau di bawah muka tanah), kemudian dipompakan ke suatu tangki atas yang biasanya dipasang di atas atau di atas lantai tertinggi bangunan. Dari tangki ini air didistribusikan ke seluruh bangunan.

Pada Gbr. 2.6 menjelaskan apabila air dalam reservoir bawah dipompa ke reservoir atas sedemikian rupa. Setelah itu air disalurkan dari reservoir atas ke unit beban plambing pada tiap lantai gedung. Sehingga tiap unit beban plambing dapat dipenuhi kebutuhannya.

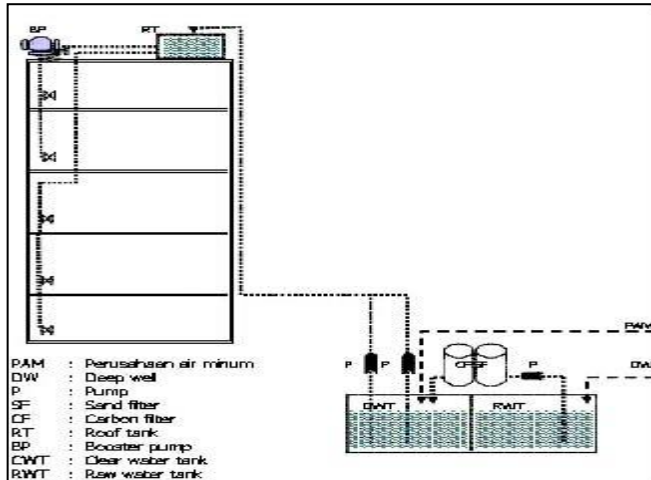
(Bagian ini sengaja dikosongkan)



Gambar. 2.4 Sistem dengan tangki atap.

2.5.2. Sistem booster gedung (*booster system*)

Dalam sistem booster gedung seperti pada Gbr.2.7 ini, air dipompa kembali langsung dari reservoir atas ke sistem distribusi line bangunan dengan tujuan agar unit beban terjauh dapat dijangkau/dipenuhi akan kebutuhan kapasitasnya.



Gambar 2.5 Sistem booster gedung

2.5.3. Tekanan unit beban plambing

Tekanan unit beban plambing yang kurang mencukupi akan menimbulkan kesulitan dalam pemakaian alat plambing. Tekanan yang berlebihan dapat menimbulkan rasa sakit apabila terkena pancaran air, mempercepat kerusakan peralatan plambing, dan menambah kemungkinan timbulnya pukulan air.

Secara umum dapat dikatakan besarnya tekanan “standar” adalah $1,0 \text{ Kg/cm}^2$, sedangkan besarnya tekanan statik sebaiknya diusahakan antara $4,0$ sampai $5,0 \text{ Kg/cm}^2$ untuk perkantoran dan antara $2,5$ sampai $3,5 \text{ Kg/cm}^2$ untuk hotel dan perumahan. Besarnya tekanan minimum beberapa macam peralatan plambing agar dapat berfungsi dengan baik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tekanan yang dibutuhkan alat plambing (P_{gage})

Nama alat plambing	Tekanan yang dibutuhkan		Tekanan standard	
	Kg/cm ²	Pa	Kg/cm ²	Pa
Katup gelontor kloset	0.7	68646.55	1	98066.5
Katup gelontor peturasan	0.4	39226.60		
Keran yang menutup sendiri, otomatis	0.7	68646.55		
Pancuran mandi, dengan pancaran halus/tajam	0.7	68646.55		
Pancuran mandi (biasa)	0.35	34323.28		
Keran biasa	0.3	29419.95		
Pemanas air langsung, dengan bahan bakar gas	0.25 - 0.7	24516.6 - 68646.55		

2.6. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran air yang terlampau tinggi akan dapat menambah kemungkinan timbulnya pukulan air, menimbulkan suara berisik dan kadang-kadang menyebabkan ausnya permukaan dalam dari pipa. Kecepatan yang terlampau rendah dapat menimbulkan efek kurang baik dari segi aliran, pengendapan kotoran, ataupun kualitas air. Biasanya digunakan standar kecepatan sebesar 1 sampai 1,2 m/detik, dan batas maksimumnya berkisar antara 1,5 sampai 2,0 m/detik. Batas kecepatan 2,0 m/detik sebaiknya diterapkan dalam penentuan pendahuluan ukuran pipa.

2.7. Permintaan Air (*Water demand*)

Ada beberapa metode permintaan kebutuhan air yang dapat digunakan pada unit beban yaitu berdasarkan:

- ❖ Jenis dan jumlah alat plambing.
- ❖ Unit beban alat plambing.

2.7.1. Penaksiran berdasarkan jenis dan jumlah alat plumbing

Metode ini digunakan apabila kondisi pemakaian alat plumbing dapat diketahui, misalnya untuk gedung kecil. Juga harus diketahui jumlah dari setiap jenis alat plumbing dalam gedung tersebut. Pada tabel 2.2 dan tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.2 Faktor pemakaian (%) dan jumlah alat plumbing

Jumlah alat plumbing Jenis alat plumbing	1	2	4	8	12	16	24	32	40	50	70	100
Kloset, dengan katup gelontor	1	50 satu	50 2	40 3	30 4	27 5	23 6	19 7	17 7	15 8	12 9	10 10
Alat plumbing biasa	1	100 dua	75 3	55 5	48 6	45 7	42 10	40 13	39 16	38 19	35 25	33 33

Tabel 2.3 Pemakaian air tiap alat plumbing, laju aliran

	Nama alat plumbing	Pemakaian air untuk penggunaan satu kali (liter)	Penggunaan per jam	Laju aliran (liter/min)	Waktu untuk pengisian (detik)	Pipa sambungan alat plumbing (mm)	Pipa cabang air bersih ke alat plumbing (mm)	
							Pipa baja	Tembaga ⁴⁾
1	Kloset (dengan katup gelontor)	13,5-16,5 ¹⁾	6-12	110-180	8,2-10	24	32 ²⁾	25
2	Kloset (dengan tangki gelontor)	13-15	6-12	15	60	13	20	13
3	Peturasan / U ³⁾ (dengan katup gelontor)	5	12-20	30	10	13	20 ³⁾	13
4	Peturasan, 2-4 orang (dengan tangki gelontor)	9-18 (8 4,5)	12	1,8-3,6	300	13	20	13
5	Peturasan, 5-7 orang (dengan tangki gelontor)	22,5-31,5 (8 4,5)	12	4,5-6,3	300	13	20	13
6	Bak cuci tangan kecil	3	12-20	10	18	13	20	13
7	Bak cuci tangan biasa (lavatory)	10	6-12	15	40	13	20	13
8	Bak cuci dapur (sink) dengan keran 13 mm	15	6-12	15	60	13	20	13
9	Bak cuci dapur (sink) dengan keran 20 mm	25	6-12	25	60	20	20	20
10	Bak mandi rendam (bath tub)	125	3	30	250	20	20	20
11	Pancuran mandi (shower)	24-60	3	12	120-300	13-20	20	13-20
12	Bak mandi gaya Jepang	Tergantung ukurannya		30		20	20	20

Catatan:

¹⁾ Standar pemakaian air untuk kloset dengan katup gelontor untuk satu kali penggunaan adalah 15 liter selama 10 detik.

²⁾ Pipa sambungan ke katup gelontor untuk kloset biasanya adalah 25 mm, tetapi untuk mengurangi kerugian akibat gesekan dianjurkan memasang pipa ukuran 32 mm.

³⁾ Pipa sambungan ke katup gelontor untuk peturasan biasanya adalah 13 mm, tetapi untuk mengurangi kerugian akibat gesekan dianjurkan memasang pipa ukuran 20 mm.

⁴⁾ Karena pipa tembaga kurang cenderung berkerak dibandingkan dengan pipa baja, maka ukurannya bisa lebih kecil. Pipa PVC bisa juga dipasang dengan ukuran yang sama dengan pipa tembaga.

Pemakaian air rata-rata per jam dapat dihitung dengan membagi pemakaian air rata-rata sehari dengan jangka waktu pemakaian air sehari.

$$Q_h = \frac{Q_d}{T} \quad (2.1)$$

dimana : Q_h = Pemakaian air rata-rata (m^3/jam)

Q_d = Pemakaian air rata-rata sehari

T = Jangka waktu pemakaian (jam)

Pada waktu tertentu pemakaian air ini akan melebihi pemakaian air rata-rata, dan yang tertinggi dinamakan pemakaian air jam puncak. Pemakaian air pada jam puncak inilah yang digunakan untuk menentukan ukuran pipa dinas ataupun pipa utama.

$$Q_{h-max} = C_1 \times Q_h \quad (2.2)$$

$$Q_{m-max} = C_2 \times \left(\frac{Q_h}{60} \right) \quad (2.3)$$

dimana : Q_{h-max} = Pemakaian air jam puncak

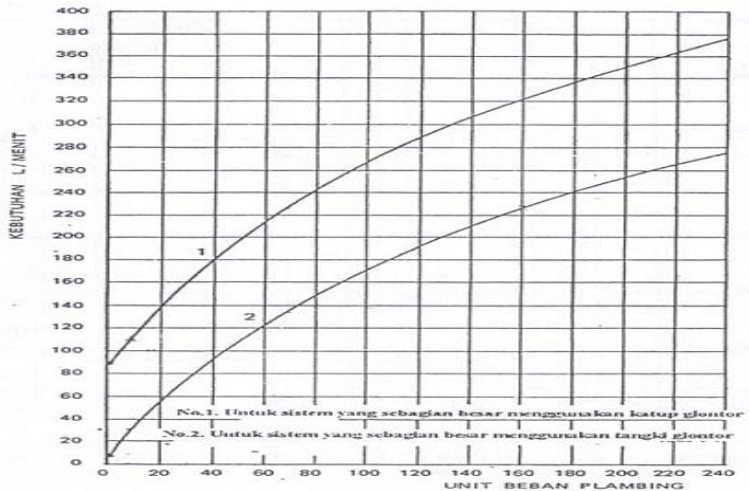
C_1 = Konstanta (berkisar antara 1,5 – 2,0)

Q_{m-max} = Pemakaian air menit puncak

C_2 = Konstanta (berkisar antara 3 – 4)

2.7.2. Penaksiran berdasarkan unit beban alat plambing (UBAP)

Metode ini dilakukan dengan menyatakan setiap alat plambing dalam unit beban (*fixture unit*). Tabel 2.4 dapat digunakan sebagai referensi dalam unit beban. Untuk setiap bagian pipa dijumlahkan besarnya unit beban dari semua alat plambing yang dilayaninya, dan kemudian dicari besarnya laju aliran air dengan kurva pada Gbr 2.4 Metode ini dikenal juga dengan *Water Supply Fixture Unit (WSFU)*.



1. Untuk sistem yang sebagian besar dengan katup gelontor.
2. Untuk sistem yang sebagian besar dengan tangki gelontor.

Gambar 2.6 Hubungan unit beban alat plambing dengan laju aliran.

Tabel 2.4 Nilai unit beban alat plambing

Jenis Alat Plambing	Jenis Penyediaan air	Unit Beban Alat Plambing	
		Pribadi	Umum
Kloset	Katup gelontor	6	10
Kloset	Tangki gelontor	3	5
Peturasan,dengan tiang	Katup gelontor	-	10
Peturasan terbuka (urinal stall)	Katup gelontor	-	5
Peturasan terbuka (urinal stall)	Tangki gelontor	-	3
Bak cuci (kecil)	Keran	0.5	1
Bak cuci tangan (lavatory)	Keran	1	2

2.8. Perhitungan tangki air

Tangki air berfungsi untuk menampung air bersih sebelum didistribusikan menuju seluruh bagian gedung yang membutuhkan. Keberadaan tangki ini dimaksudkan untuk mengatasi keterbatasan tekanan air yang tersedia pada pipa utama misalnya PDAM. Berikut ini adalah tangki yang biasa digunakan dalam sistem distribusi air.

2.8.1. Tangki air bawah (*ground reservoir*)

Penyediaan tangki air bawah selalu dibutuhkan baik pada sistem pengaliran ke atas maupun ke bawah. Tangki ini digunakan untuk menampung air yang berasal langsung dari sumbernya atau PDAM. Besar kapasitas tangki air yang digunakan bergantung pada besar kebutuhan air tiap hari dan kapasitas suplai air ke tangki selama waktu pemakaian. Besarnya kapasitas tangki ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_R = Q_d - (Q_s \times T) \quad (2.4)$$

Jika tangki yang digunakan juga berfungsi menyimpan air untuk pemadam kebakaran, maka besar volume tangki yang harus disediakan adalah:

$$V_R = Q_d - (Q_s \times T) + V_F \quad (2.5)$$

dimana: V_R = Kapasitas tangki air (m^3/hari)

Q_d = Jumlah kebutuhan air tiap hari (m^3/hari)

Q_s = Kapasitas pipa dinas (m^3/jam)

T = Rata-rata pemakaian tiap hari (jam/hari)

V_F = Volume air cadangan pemadam kebakaran (m^3)

Kapasitas pengaliran pipa dinas (Q_s) dianggap sebesar dua per tiga pemakaian air rata-rata per jam (Q_h).

2.8.2. Tangki air atap (*roof tank*)

Tangki atap dimaksudkan untuk menampung kebutuhan puncak dan biasanya disediakan dengan kapasitas cukup untuk jangka waktu kebutuhan puncak tersebut, yaitu sekitar 30 menit. Tangki ini sering disebut sebagai *gravity tank* karena air yang

ditampung akan distribusikan secara gravitasi menuju ruangan yang membutuhkan. Dalam keadaan tertentu dapat terjadi bahwa kebutuhan puncak dimulai pada saat muka air terendah dalam tangki atap, sehingga perlu diperhitungkan jumlah air dapat dimasukkan dalam waktu 10-20 menit oleh pompa angkat (yang memompakan air dari tangki bawah ke tangki atas). Berikut ini adalah perumusan untuk menentukan kapasitas tangki atas.^[2]

$$V_E = ((Q_p - Q_{\max})T_p) - (Q_{pu} \times T_{pu}) \quad (2.6)$$

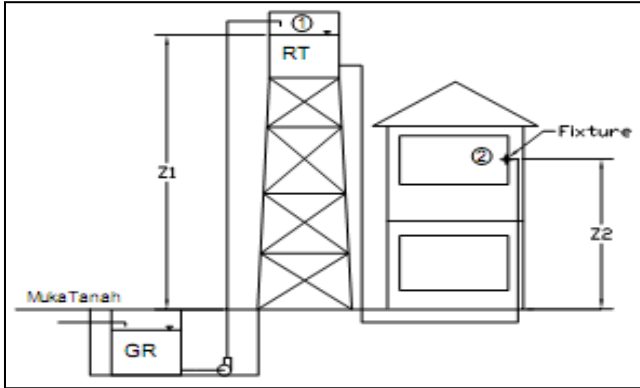
dimana : V_E = Volume efektif tangki atas (m^3)
 Q_p = Kebutuhan puncak (m^3 /menit)
 Q_{\max} = Kebutuhan jam puncak (m^3 /menit)
 Q_{pu} = Kapasitas pompa pengisi (m^3 /menit)
 T_p = Jangka waktu kebutuhan puncak (menit)
 T_{pu} = Jangka waktu kerja pompa pengisi (menit)

Pipa keluar tangki atas harus dapat mengalirkan air dengan laju sebesar kebutuhan puncak (Q_p). Sedangkan kapasitas pompa pengisi diusahakan sebesar.

$$Q_{pu} = Q_{\max} = Q_{h-\max}$$

2.8.2.1. Posisi tangki air atap

Dalam penentuan posisi tangki air atap seperti gambar 2.6 yang perlu diperhatikan adalah tekanan *hydrostatic* yang dihasilkan harus lebih besar dari total head yang dimiliki oleh peralatan plambing. Posisi tangki air atas ditentukan berdasarkan peralatan plambing yang memiliki posisi terjauh dan tekanan yang paling besar. Penentuan posisi tangki atas menggunakan persamaan berikut:



Gambar 2.7 Posisi tangki atap

$$Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} - \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + Z_2 + \sum H_{L1-2} \quad (2.7)$$

dimana: Z_1 = Tinggi tangki minimum (m)
 Z_2 = Ketinggian *fixture* (m)
 P_1 = Tekanan pada titik 1 (Pa)
 P_2 = Tekanan *fixture* (Pa)
 V_1 = Kecepatan aliran pada titik 1 (m/detik)
 V_2 = Kecepatan aliran pada titik 2 (m/detik)
 $\sum H_{L1-2}$ = *Head loss* aliran sepanjang pipa (m)
 γ = Berat jenis air = $\rho \times g$ (Kg/m³ x m/detik²)

2.9. Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika menyatakan tentang kekekalan energi (*conservation of energy*). Persamaannya sebagai berikut :

$$(\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{normal} - \dot{W}_{shear} - \dot{W}_{other}) = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} e \cdot \rho \cdot d\forall + \int_{cs} e \cdot \rho \cdot \bar{V} \cdot dA \quad (2.8)$$

Dimana:

\dot{W}_{shaft} = kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh poros

\dot{W}_{normal} = kerja persatuan waktu yang ditimbulkan oleh tegangan normal

\dot{W}_{shear} = kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh tegangan geser

\dot{W}_{other} = kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh kelistrikan, magnetic, dll.

2.10. Tinggi Tekan (*Head*)

Head / tinggi tekan adalah ketinggian kolom *fluida* yang harus dicapai *fluida* untuk memperoleh jumlah energi yang sama dengan yang dikandung oleh satu satuan bobot *fluida* yang sama. *head* ini ada dalam tiga bentuk, yaitu :

2.10.1. *Head* Potensial

Didasarkan pada ketinggian *fluida* di atas bidang datar. Jadi suatu kolom *fluida* setinggi 1 meter mengandung jumlah energi yang disebabkan oleh posisinya dan dikatakan *fluida* tersebut memiliki *head* sebesar 2 meter kolom air (Z).

2.10.2. *Head* Kecepatan / Kinetik

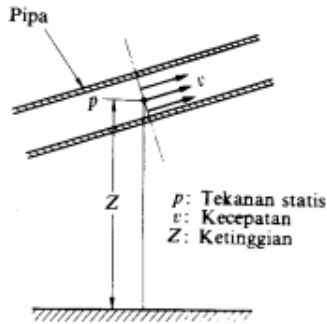
Suatu ukuran energi kinetik yang dikandung satu satuan bobot *fluida* yang disebabkan oleh kecepatan dan dinyatakan dengan persamaan $\frac{\overline{V}^2}{2.g}$

2.10.3. *Head* Tekanan

Energi yang dikandung *fluida* akibat tekanannya yang dinyatakan dengan persamaan $\frac{P}{\gamma}$.

Energi mekanik total adalah energi *fluida* yang memiliki kemampuan untuk melakukan kerja. Ketinggian (Z) yang dimiliki aliran diukur dari bidang datar yang sudah ditentukan.

Berikut ini adalah gambar yang memperjelas untuk tinggi tekan (*Head*) yang dimiliki aliran :

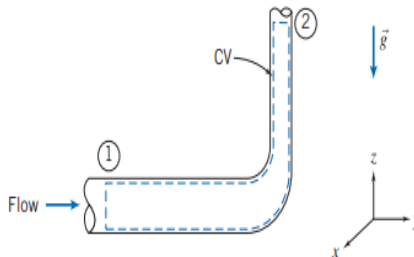


Gambar 2.8 Metode Mengukur Head

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, *Pompa dan Kompresor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan, Cetakan Pertama Halaman 4*)

2.11. Persamaan Energi

Persamaan ini didapat dari penurunan persamaan Hukum Termodinamika



Gambar 2.9 Control Volume dan koordinat untuk analisis aliran energy yang melewati elbow 90°
(Sumber : Fox and McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*)

Untuk mengkaji energi yang hilang atau kerugian tinggi tekan yang terjadi pada aliran yang melalui pipa, digunakan persamaan energi, yaitu :

$$(\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{normal} - \dot{W}_{shear} - \dot{W}_{other}) = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} e \cdot \rho \cdot dV + \int_{CS} (e + P\nu) \cdot \rho \cdot \bar{V} \cdot dA \quad (2.9)$$

Dimana :

$$e = u + \frac{\overline{V^2}}{2} + g \cdot z$$

Dengan asumsi :

1. $\dot{W}_s = 0$, $\dot{W}_{other} = 0$
2. $\dot{W}_{shear} = 0$ (meskipun terdapat tegangan geser pada dinding-dinding belokan, tetapi kecepatan pada dinding adalah nol)
3. *Steady Flow* ($\forall = 0$)
4. *Incompressible*
5. Energi dalam dan tekanan pada tiap penampang *uniform*.

Dengan asumsi diatas, maka persamaannya menjadi :

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (u_2 - u_1) + \dot{m} \left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} \right) + \dot{m} \cdot g \cdot (z_2 - z_1) + \left(\int_{A_2} \frac{\overline{V_2^2}}{2} \cdot \rho \cdot \bar{V}_2 \cdot dA_2 - \int_{A_1} \frac{\overline{V_1^2}}{2} \cdot \rho \cdot \bar{V}_1 \cdot dA_1 \right)$$

Karena aliran bersifat *viscous*, terlihat pada gambar bahwa kecepatan aliran pada penampang 1 dan 2 tidak *uniform*. Untuk menyelesaikannya, digunakan kecepatan rata-rata ke dalam persamaan energi. Untuk mengeliminasi tanda integral digunakan koefisien energi kinetik (α).

$$\dot{Q} - \dot{W}_{shaft} = \dot{m} \cdot (u_2 - u_1) + \dot{m} \left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} \right) + \dot{m} \cdot g \cdot (z_2 - z_1) + \dot{m} \left(\alpha_2 \frac{\overline{V_2^2}}{2} - \alpha_1 \frac{\overline{V_1^2}}{2} \right) \quad (2.10)$$

Dimana :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = (u_2 - u_1) + \left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} \right) + (g \cdot z_2 - g \cdot z_1) + \left(\alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2} - \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2} \right)$$

dan, $u = h + P \cdot v$

$$(u_2 - u_1) - \frac{\partial Q}{\partial m} = H_{loss}$$

Maka persamaannya Menjadi :

$$\dot{Q} - \frac{W}{m \cdot g} = \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2} + g \cdot z_2 \right) - \left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2} + g \cdot z_1 \right) = (u_2 - u_1) - \frac{\partial Q}{\partial m} \quad (2.11)$$

Dimana :

$$(u_2 - u_1) - \frac{\partial Q}{\partial m} = \text{kerugian energi dalam karena energi}$$

panas yang timbul disebabkan oleh gesekan *fluida* cair dengan dinding saluran (H_{loss}).

Bila persamaan 2.11 dikalikan dengan $\frac{1}{g}$ maka

persamaan menjadi :

$$\left(\frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2 \cdot g} + z_2 \right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2 \cdot g} + z_1 \right) = Head \quad (2.12)$$

Dengan asumsi aliran *turbulen* pada tiap penampang, maka :

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

Sehingga persamaan menjadi,

$$Head = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2}{2 \cdot g} \right) + (z_2 - z_1) \quad (2.13)$$

Untuk laluan yang aktual, tinggi - tekan tidak selalu bernilai konstan. Hal ini dikarenakan oleh rugi-rugi *turbulensi* yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$Head = \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\bar{V}_1^2}{2.g} + z_1 \right) = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{\bar{V}_2^2}{2.g} + z_2 \right) + \sum H_{LT} \quad (2.14)$$

Dimana :

P_1 = tekanan pada kondisi awal (*suction*)

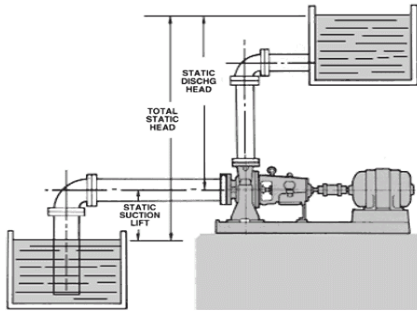
P_2 = tekanan pada kondisi akhir (*discharge*)

\bar{V}_1 = kecepatan pada kondisi awal (*suction*)

\bar{V}_2 = kecepatan pada kondisi akhir (*discharge*)

$\sum H_{LT}$ = jumlah *Head loss total*

2.12. Head Efektif Instalasi Pompa



Gambar 2.10 Instalasi Suction Lift

Merupakan besarnya *head* yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen yang ada, diantaranya adalah karena perbedaan tekanan, perbedaan kecepatan, perbedaan kerugian (kerugian mekanis, volumetris, dinamis dan kerugian listrik). Persamaan *head* instalasi sebagai berikut :

$$H_{eff} = \sum H_{st} + \sum H_{din} \quad (2.15)$$

2.12.1. Head Statis

Adalah perbedaan tinggi permukaan fluida pada bagian hisap dengan bagian tekan. *Head statis* tidak dipengaruhi oleh debit, hanya pada perbedaan tekanan dan ketinggian.

$$\sum H_{st} = \left(\frac{P_d - P_s}{\gamma} \right) + (H_d - H_s) \quad (2.16)$$

Dimana :

H_{st} = *Head Statis* total (m)

P_1 = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)

P_2 = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)

γ = berat jenis *fluida* $\left(\frac{N}{m^3} \right)$

H_d = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)

H_s = jarak / ketinggian sisi *suction* (m)

➤ *Head statis* terdiri dari :

1. *Head tekanan (Pressure Head)*

Merupakan energi yang terdapat di dalam *fluida* akibat perbedaan tekanan antara *discharge reservoir* dan *suction reservoir*.

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \quad (2.17)$$

Dimana :

H_p = *Head statis* total (m)

P_1 = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)

P_2 = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)

γ = berat jenis *fluida* $\left(\frac{N}{m^3} \right)$

2. *Head ketinggian (Elevation Head)*

Merupakan perbedaan ketinggian dari permukaan *fluida* pada sisi *discharge reservoir* dan *suction reservoir* dengan acuan garis sumbu tengah pompa.

$$H_z = H_d + H_s \quad (2.18)$$

Dimana :

H_z = *Head* elevasi (m)

H_d = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)

H_s = jarak / ketinggian sisi *suction*(m)

Dimana akan bertanda (+) apabila suction lift
dan akan bertanda (-) apabila suction head

Terdapat dua macam ketinggian *head* instalasi , yaitu:

a. ***Suction Lift***

Suction lift adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari permukaan *fluida* yang harus dipompakan terhadap garis sumbu tengah pompa. *Suction Lift* diperoleh mulai dari garis tengah sumbu pompa sampai permukaan sumber suplai (*suction tank*). Gambar 2.11 merupakan contoh instalasi *suction Lift*. Nilai $(H_d - H_s)$ bernilai positif (+), karena permukaan zat cair pada sisi hisap lebih rendah dari sumbu tengah pompa.

b. ***Suction Head***

Suction head adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari garis sumbu tengah pompa hingga ketinggian *fluida* yang dipompakan. *Suction head* diperoleh mulai dari permukaan sumber suplai (*suction tank*) yang berada di atas garis tengah sumbu pompa. Gambar 2.12 merupakan contoh instalasi *suction head*. Nilai $(H_d - H_s)$ bernilai negatif (-) , karena permukaan

zat cair pada sisi hisap lebih tinggi dari sumbu tengah pompa.

2.12.2. Head Dinamis

Head dinamis adalah *head* yang terdiri dari *velocityhead* dan *headloss*. Untuk penjelasannya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$\sum H_{din} = \left(\frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2 \cdot g} \right) + \sum H_{LT} \quad (2.19)$$

Dimana :

$$\sum H_{din} = \text{Head dinamis (m)}$$

$$\sum H_{LT} = \text{kerugian tinggi tekan (m)}$$

$$\bar{V}_d = \text{kecepatan aliran di dalam pipa discharge (m/s)}$$

$$\bar{V}_s = \text{kecepatan aliran di dalam pipa suction (m/s)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (9,81 m/s}^2\text{)}$$

➤ Head dinamis terdiri dari :

2.12.2.1. Velocity Head

adalah *head* yang disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan yang keluar dari *suction reservoir* dan masuk ke dalam *discharge reservoir*. Velocity head ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_v = \frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2 \cdot g} \quad (2.20)$$

Dimana :

$$\bar{V}_d = \text{kecepatan aliran discharge (m/s)}$$

$$\bar{V}_s = \text{kecepatan aliran suction (m/s)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (9,81 m/s}^2\text{)}$$

2.12.2.2. *Head Loss Total*

Head Loss Total (total kerugian tinggi tekan) merupakan jumlah suatu kerugian yang dialami aliran *fluida* selama bersirkulasi dimana kerugian itu tergantung pada geometri penampang saluran dan parameter-parameter *fluida* serta aliran itu sendiri. Kerugian tinggi tekan (*Head loss*) dapat dibedakan atas, kerugian dalam pipa (*major losses*) dan kerugian pada perubahan geometri (*minor losses*). Untuk persamaan total kerugian tinggi tekan adalah :

$$\sum H_{LT} = H_l + \sum H_{lm} \quad (2.21)$$

$$\sum H_{LT} = \left(f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \right) + \left(K \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

2.12.2.2.1. *Head Loss Mayor*

Kerugian aliran *fluida* yang disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara *fluida* dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran *fluida* (kerugian kecil).

Kerugian *head* akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari rumus berikut :

Persamaan Darcy – Weisbach

$$H_l = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.22)$$

Dimana :

H_l = kerugian *head* karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

D = diameter pipa (m)

\bar{V} = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = gravitasi bumi (9,81 m/s²)

Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (2.23)$$

Untuk menggunakan persamaan ini dilakukan dengan menggunakan iterasi yang membuat harga f dapat lebih akurat. Adapun cara lain untuk mempermudah mencari harga *friction factor* (f), dapat menggunakan *moody diagram* dengan fungsi *reynold number* (Re) dan e/d terhadap *friction factor* (f).

Persamaan *Colebrook-White* berlaku untuk seluruh kisaran aliran *non laminar* dalam *diagram moody*.

2.12.2.2.2. Head Loss Minor

Selain kerugian *head loss mayor*, juga terdapat kerugian yang disebabkan karena kelengkungan pipa seperti belokan, siku, sambungan, katup dan sebagainya yang disebut dengan kerugian kecil (*Head Loss Minor*). Besarnya kerugian minor, yaitu :

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.24)$$

Dimana :

\bar{V} = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = gravitasi bumi (9,81 m/s²)

K = koefisien kerugian (minor losses) pipa

Dimana harga K dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$K = f \cdot \frac{L_e}{D} \quad (2.25)$$

2.13. Net Positive Suction Head (NPSH)

Net Positive Suction Head (NPSH) merupakan ukuran dari *head suction* terendah yang memungkinkan bagi cairan untuk tidak mengalami kavitasi. NPSH ini dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap terjadinya kavitasi.

2.13.1. Net Positive Suction Head Available (NPSH_A)

NPSH_A merupakan NPSH yang tersedia pada instalasi pompa yang besarnya dapat ditulis :

$$NPSH_A = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - \sum H_l s$$

Dimana :

NPSH_A = yang tersedia pada instalasi (m kolom minyak)

$\frac{P_a}{\gamma}$ = tekanan absolut diatas permukaan cairan pada suction reservoir (m kolom minyak)

$\frac{P_v}{\gamma}$ = tekanan uap cairan yang dipompa pada temperature pemompaan (m kolom minyak)

h_s = Head hisap statis (m kolom minyak)

$\sum H_l s$ = Head loss pada pipa hisap (m kolom minyak)

2.13.2. Net Positive Suction Head Required (NPSH_R)

NPSH_R adalah NPSH yang diisyaratkan pompa yang bersangkutan supaya bisa bekerja. NPSH_R ini ditentukan oleh pabrik pembuat pompa tersebut yang besarnya tergantung dari banyak faktor, antara lain : desain impellernya, kecepatan putaran, sifat fluida yang dipompa. Agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, maka harus dipenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$NPSH_A > NPSH_R$$

2.14. Daya Penggerak

2.14.1. Daya Fluida (WHP)

Daya fluida adalah energi yang diterima oleh fluida dari pompa dengan menghasilkan perubahan energi tekanan dan nantinya akan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$WHP = \gamma \times Q_{act} \times H$$

Dimana :

WHP = Daya Pompa (watt)

γ = Berat spesifik fluida (N/m³)

Q_{act} = Kapasitas Aktual Pompa (m³/s)

H = *Head* pompa (m)

2.14.2. Daya Poros (P_{shaft})

Daya poros adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa. Hal ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_{shaft} = \frac{WHP}{\eta_p}$$

Dimana :

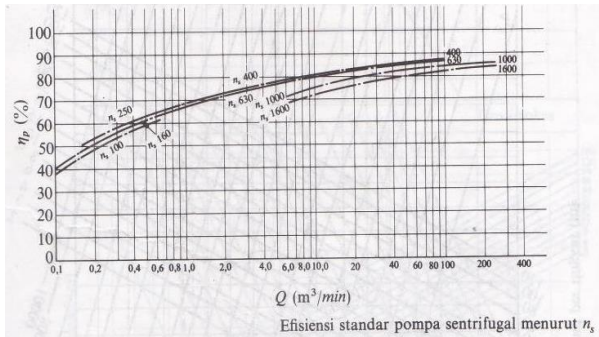
P_{shaft} = Daya Poros (Watt)

WHP = Daya Pompa / Daya Air (Watt)

η_p = Efisiensi Pompa (desimal)

2.14.2.1. Efisiensi Standar Pompa (η_p)

Harga-harga standar efisiensi pompa (η_p) diberikan dalam gambar dibawah ini. Efisiensi pompa untuk pompa-pompa jenis khusus harus diperoleh dari pabrik pembuatnya.



Gambar 2.11 Efisiensi standar pompa
(Sumber : Sularso Tahara Haruo, *Pompa dan Kompresor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan*)

2.14.3. Daya Nominal Penggerak Mula

Daya nominal dari penggerak mula yang dipakai untuk menggerakkan pompa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_m = \frac{P(1 + \alpha)}{\eta_t}$$

Dimana :

P_m : Daya Nominal Penggerak Mula (KW)

α : Faktor Cadangan (KW)

η_t : Efisiensi Transmisi

Faktor cadangan dan efisiensi transmisi dapat dicari dengan melihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.5 Faktor Cadangan

Jenis Penggerak Mula	α
Motor Induksi	0,1-0,2
Motor Bakar Kecil	0,15-0,25
Motor Bakar Besar	0,1-0,2

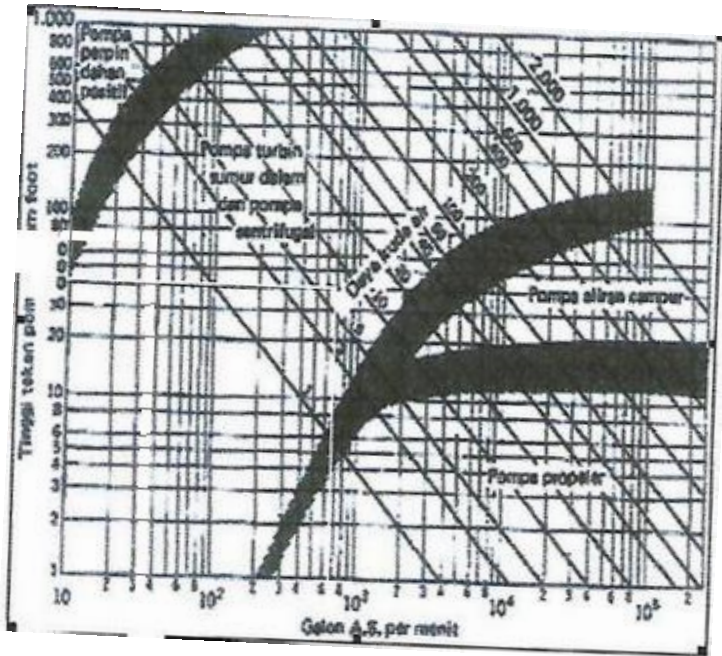
Tabel 2.6 Efisiensi Transmisi

Jenis Transmisi		η_t
Sabuk Rata		0,9-0,93
Sabuk – V		0,95
Roda Gigi	Roda gigi lurus satu tingkat	0,92-0,95
	Roda gigi miring satu tingkat	0,95-0,98
	Roda gigi kerucut satu tingkat	0,92-0,96
	Roda gigi planiter satu tingkat	0,95-0,98
Kopling Hidrolik		0,95-0,97

2.15. Pemilihan Pompa Berdasarkan Perhitungan Head dan Kapasitas

Dalam beberapa hal, untuk kapasitas dan *head* efektif pompa yang diperlukan, terdapat lebih dari satu jenis pompa yang dapat dipilih. Untuk itu dapat dilihat diagram yang ada berikut ini :

(Bagian ini sengaja dikosongkan)



Gambar 2.12 Daerah kerja beberapa jenis konstruksi pompa
(Sumber : Hicks, Tyler G. *Teknologi Pemakaian Pompa*)

Untuk menentukan pompa sentrifugal yang tepat yang digunakan pada sebuah sistem, maka kurva karakteristik pompa dan kurva karakteristik sistem digabungkan. Titik pertemuan antara kedua kurva tersebut merupakan titik operasional. Titik operasional paling optimal adalah jika titik pertemuan antara kedua kurva tersebut berada pada area *BEP* (*Best Efficiency Point*).

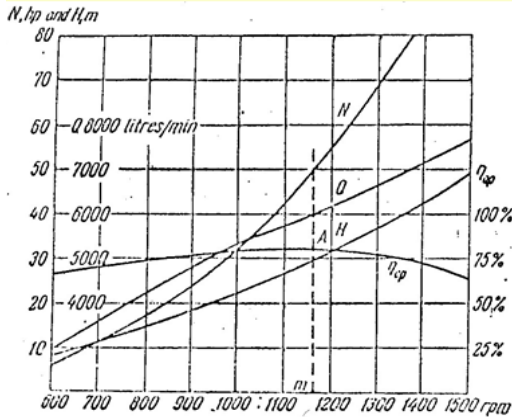
2.16. Kurva Karakteristik Pompa

Karakteristik pompa adalah kurva yang menghubungkan suatu performa dengan performa yang lainnya saat beroperasi. Performa pompa yaitu *head* (*H*), kapasitas(*Q*),

daya pompa dan efisiensi (η). Secara umum karakteristik pompa sentrifugal terbagi menjadi 3, yaitu :

2.16.1. Karakteristik Utama

Adalah kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan *head* dan kapasitas dengan perubahan putaran-putaran pompa yang dapat menyebabkan perubahan kecepatan impeller. Di bawah ini adalah grafik karakteristik utama :

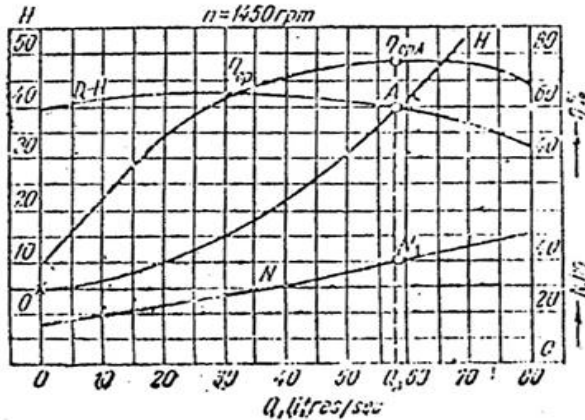


Gambar 2. 13 Karakteristik Utama

(Sumber : Khetagurov, *Marine Auxiliary Machinery and System*)

2.16.2. Karakteristik Kerja

Adalah kurva karakteristik yang diplot berdasarkan kecepatan impeler (putaran pompa) yang konstan. Kurva ini divariasikan harga kapasitasnya dengan membuka/menutup *valve-valve* yang ada agar bisa mendapatkan titik kerja yang optimal dengan kurva kapasitas (Q) fungsi *head*.

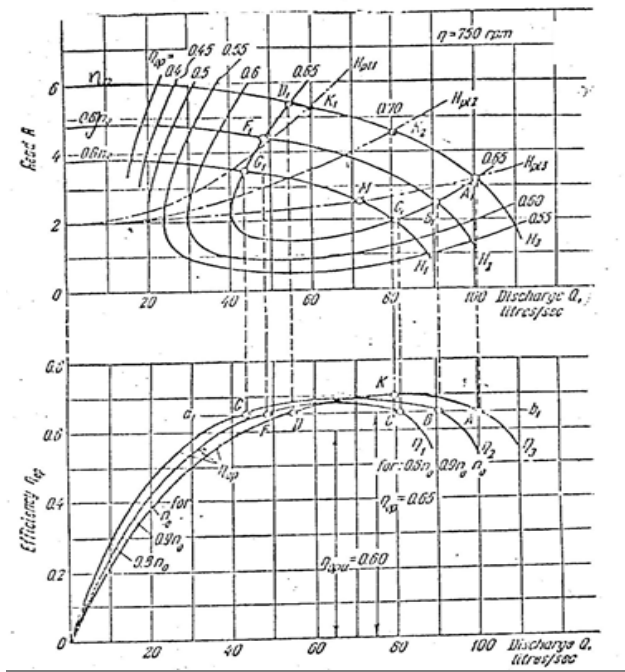


Gambar 2.14 Karakteristik Kerja
(Sumber : Khetagurov, Marine Auxiliary Machinery and System)

2.16.3. Karakteristik Universal

Adalah kurva yang merupakan gabungan dari karakteristik utama dan karakteristik kerja. Kurva ini digunakan untuk menentukan parameter-parameter pompa untuk berbagai kondisi operasi.

(Bagian ini sengaja dikosongkan)

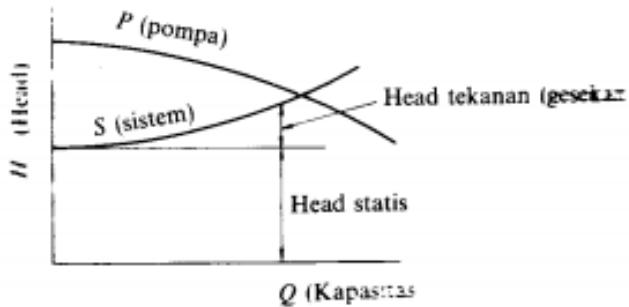


Gambar 2.15 Karakteristik Universal
(Sumber : Khetagurov, *Marine Auxiliary Machinery and System*)

2.16.4. Titik Operasi Pompa

Titik operasi pompa adalah titik dimana menunjukkan kapasitas aliran pada head tertentu yang bekerja dengan performa yang baik. Titik operasi pompa ini ditentukan oleh perpotongan kurva sistem dengan kurva pompa yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.15 .

(Bagian ini sengaja dikosongkan)



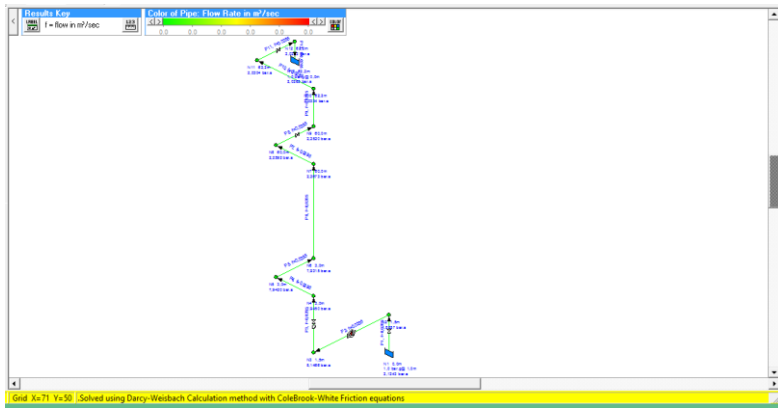
Gambar 2.16 Titik Operasi Pompa

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, *Pompa dan Kompresor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan*, Cetakan pertama)

Titik operasional pompa harus sedapat mungkin dijaga agar selalu berada pada area efisiensi pompa tertinggi. Terutama bila pengoperasian pompa digunakan pada sistem yang memerlukan variasi *head* dan besar aliran fluida yang akan menggeser kurva sistem.

2.17. Software Pipe Flow Expert

Pipe Flow Expert merupakan program perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk desain perpipaan dan pemodelan sistem pipa. *Software* ini dapat digunakan untuk menghitung aliran *fluida* dalam jaringan pipa terbuka maupun tertutup dengan suatu kapasitas *reservoir* ganda, beberapa pompa yang dihubungkan secara seri dan paralel serta beberapa ukuran dan *fitting* suatu pipa. *Pipe flow expert* ini akan menghitung laju aliran di setiap pipa dan akan menghitung penurunan tekanan pipa seluruh sistem. Pada gambar 6.16 menunjukkan penampang salah satu instalasi pada *software pipe flow expert*.



Gambar 2.17 Pipe Flow Expert

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan mengenai data-data yang telah diperoleh dari hasil survey lapangan serta persiapan-persiapan yang dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Pencarian data tugas akhir ini dilaksanakan di **Gedung Pusat Riset ITS Surabaya**, sedangkan beberapa data tugas akhir ini diperoleh dari bagian perencanaan dan pengelolaan sarana dan prasarana ITS dan SPPK Gedung Pusat Riset ITS Surabaya guna mendapatkan pengetahuan dan pemahaman dengan jelas tentang instalasi pompa air untuk memenuhi kebutuhan air bersih pada gedung tersebut. Dalam hal ini air ditampung dalam tangki atas dimana air tersebut sebelumnya ditampung dalam tangki bawah / tendon lalu didistribusikan ke seluruh bagian gedung. Dengan studi literatur dan pengamatan langsung di lapangan diharapkan diperoleh data yang benar-benar akurat untuk perhitungan perencanaan ulang instalasi pompa yang paling sesuai dan dapat dipertanggung jawabkan baik secara teknis maupun ekonomis.

Prosedur penyusunan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.1 Persiapan Awal

1. Penentuan tema awal tugas akhir mengenai “Perencanaan Ulang Instalasi Pompa Air Bersih pada Gedung Pusat Riset ITS Surabaya”
2. Pengajuan tema serta permohonan persetujuan kepada dosen pembimbing tugas akhir.
3. Memenuhi prosedur pengambilan data tugas akhir yang ditetapkan oleh direktur perencanaan dan pengelolaan sarana dan prasarana ITS.

3.2 Pengambilan Data

Metode pengumpulan data dibagi menjadi dua yaitu :

1) Penelitian Lapangan (*field research*)

Penelitian lapangan yaitu metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan pengamatan lapangan. Cara pengumpulan data dengan metode penelitian lapangan antara lain.

❖ Observasi

Pengumpulan data dengan mengadakan pengamatan secara langsung terhadap objek yang diteliti yaitu sistem distribusi air bersih di Gedung Pusat Riset ITS Surabaya.

❖ Wawancara

Metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan jalan mengadakan diskusi tanya jawab secara langsung dengan petugas bagian perencanaan dan pengelolaan sarana dan prasarana ITS dan petugas yang sedang mengerjakan pembangunan gedung serta pihak-pihak yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti.

2) Penelitian kepustakaan (*library research*).

Penelitian ke perpustakaan merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh data dari literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang sedang diteliti, sehingga diperoleh gambaran secara teoritis sebagai dasar penerapan perancangan.

3.3 Perhitungan

Perhitungan pada tugas akhir ini menggunakan perhitungan dengan dua metode, yaitu metode teoritis dan metode numerik. Perhitungan yang dilakukan pada tiap section meliputi perhitungan kapasitas (Q), kecepatan (V), *head loss mayor* (Hl), *head loss minor* (Hlm). Dan Head efektif instalasi (H_{eff}). Selanjutnya perhitungan dilanjutkan dengan perhitungan daya fluida (WHP), *Net Positive Suction Head Available* (NPSH_A), dan efisiensi pompa (η)

3.3.1. Tahapan penaksiran kebutuhan air pada unit beban

Penaksiran kebutuhan air bersih dan sistem pemadam kebakaran dalam perhitungan ini digunakan dengan metode.

Sistem air bersih :

1. Metode Berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing.
2. Metode unit beban alat plambing.

Dari kedua metode ini nanti dapat dilihat perbedaannya yang kemudian akan dipakai dalam perhitungan adalah kebutuhan air yang terbesar. Gedung Pusat Riset ITS Surabaya yang dilayani sistem distribusi air bersih memiliki 11 lantai, diantaranya adalah :

- 1) Area Parkir
- 2) Galery & Cafetaria
- 3) Pusat Study & Inovasi Bisnis
- 4) Kantor Pengelola Pusat Riset & PDPM
- 5) R. Sidang & Pusat Study PPLH
- 6) Pusat Study ITK & Robotika – Energy
- 7) Pusat Study KBPI – Transportasi & Logistik
- 8) Pusat Studi Kelautan
- 9) Pusat Study Sains Dasar & Terapan
- 10) Pusat Study Material & Nanoteknologi
- 11) Ruang Serbaguna

3.3.2 Tahapan perhitungan tangki air

Perhitungan tangki air meliputi :

Sistem air bersih:

1. Kapasitas dan dimensi tangki air bawah.
2. Kapasitas dan dimensi tangki air atas.

3.3.3. Tahapan perhitungan dimensi pipa

Perhitungan dimensi pipa berdasarkan nilai kebutuhan air bersih dan batas kecepatan aliran pada sistem air bersih dalam pipa yaitu 1 sampai 3 m/detik (*Ref. tata cara perencanaan sistem plambing, SNI 03-7065-2005*).

3.3.4. Pemilihan Pompa

Pemilihan pompa dilakukan dengan memplot hasil perhitungan kapasitas (Q), dan head efektif instalasi (H_{eff}) yang telah dilakukan kedalam kurva unjuk kerja pompa (kurva $H-Q$ pompa) yang tertera pada data spesifikasi pompa.

3.4. Data-data Perhitungan

Setelah dilakukan survey di Gedung Pusat Riset ITS Surabaya, maka diperoleh data-data perhitungan sebagai berikut :

- Jenis fluida : air
- Temperature rata-rata fluida dalam pipa : 20°C
- Layout gedung : Lampiran

3.4.1. Data *Fitting* dan *Accessory*

Fitting- fitting yang digunakan pada instalasi adalah sebagai berikut :

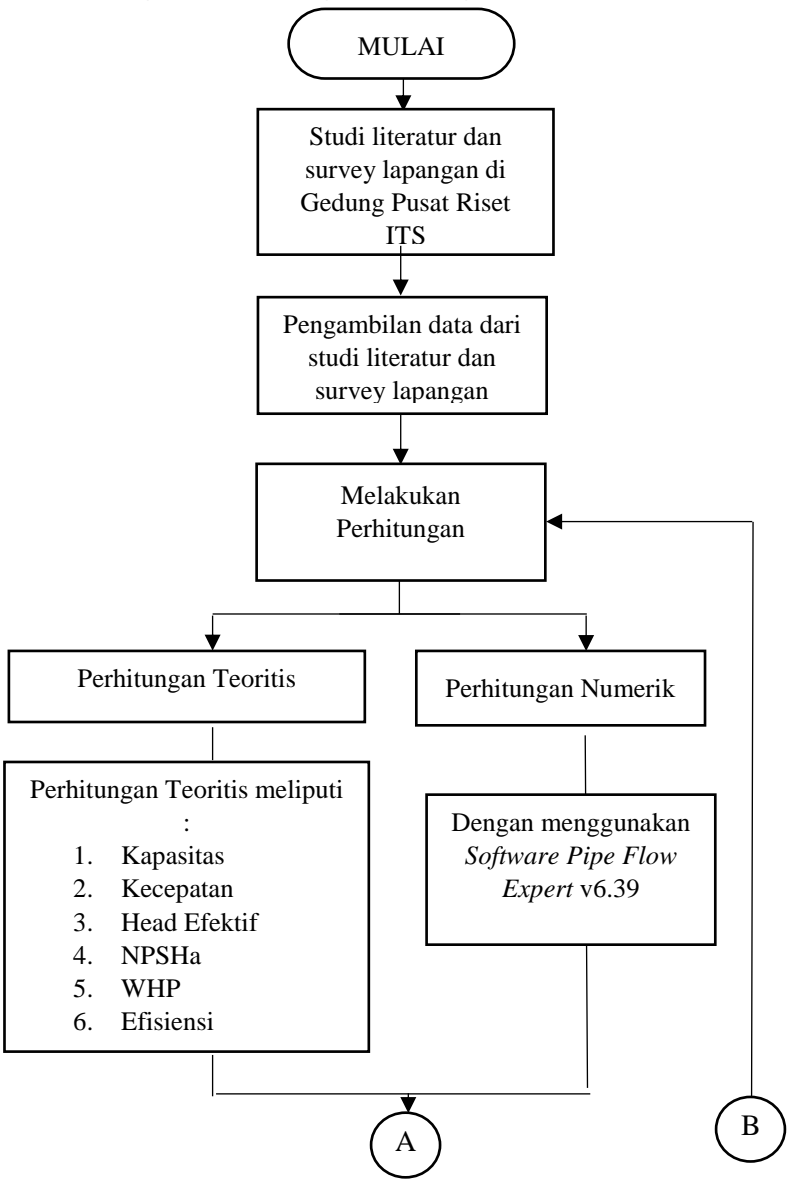
- Foot valve
- Gate valve
- Strainer
- Flexible joint
- Standard elbow 90°
- Check valve

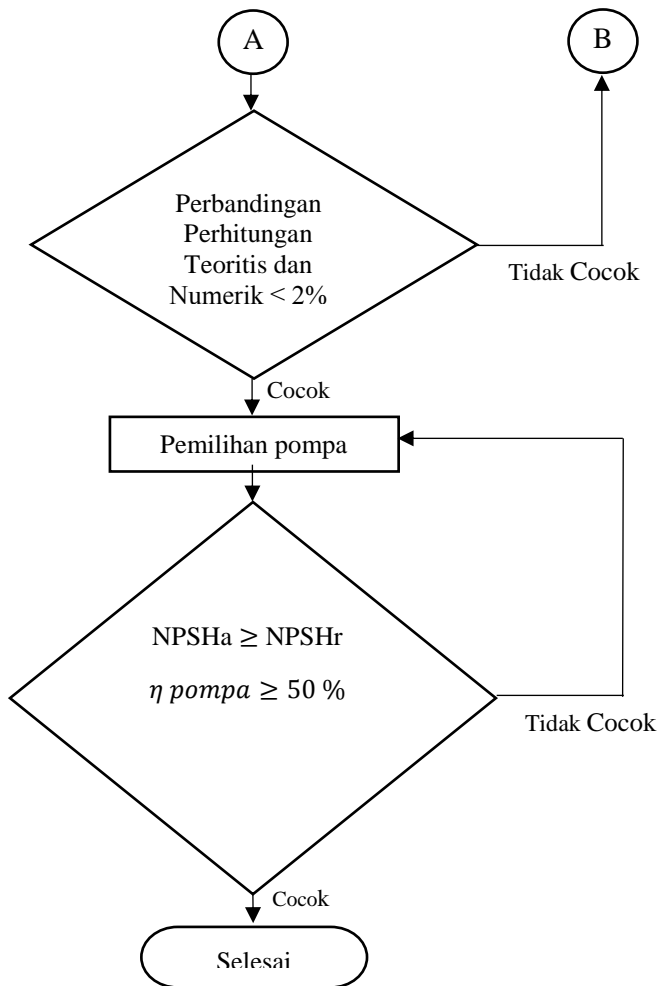
3.5. Flow Chart

Adapun langkah-langkah dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

(Bagian ini sengaja dikosongkan)

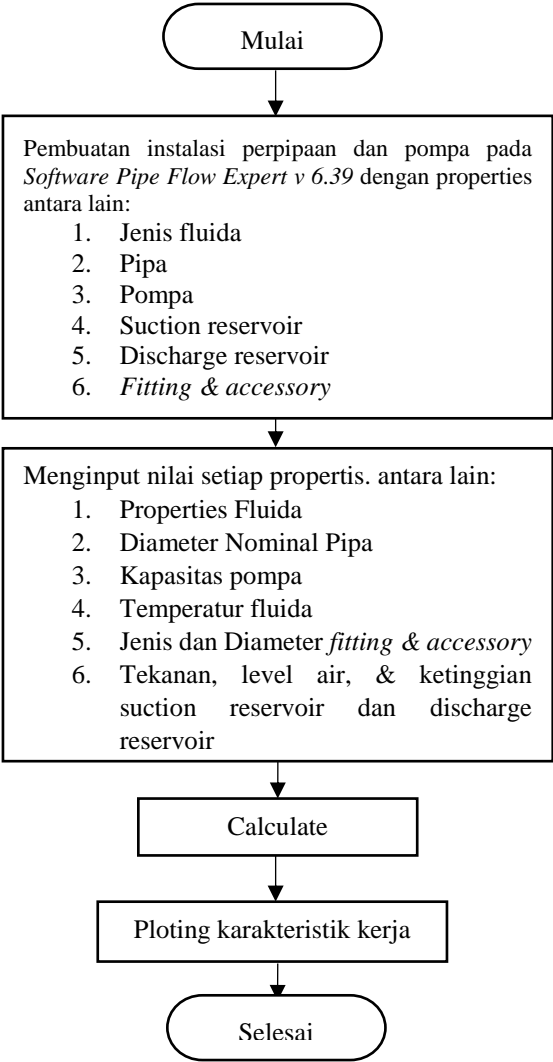
3.5.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.5.2 Diagram Alir Perhitungan Numerik



Gambar 3.2 Diagram Alir *Pipe Flow Expert*

BAB IV

ANALISA DAN PERHITUNGAN

4.1. Umum

Gedung Pusat Riset ITS Surabaya memiliki area yang luas untuk mendukung diselenggarakannya berbagai kegiatan riset dan kegiatan lainnya. Di gedung Pusat Riset ITS Surabaya memiliki beberapa sistem perpipaan, namun pada tugas akhir ini akan difokuskan membahas mengenai distribusi air bersih. Pada gedung Pusat Riset ITS Surabaya melayani sistem distribusi air bersih memiliki 11 lantai, diantaranya adalah :

- 1) Area Parkir
- 2) Galery & Cafetaria
- 3) Pusat Study & Inovasi Bisnis
- 4) Kantor Pengelola Pusat Riset & PDPM
- 5) R. Sidang & Pusat Study PPLH
- 6) Pusat Study ITK & Robotika – Energy
- 7) Pusat Study KBPI – Transportasi & Logistik
- 8) Pusat Studi Kelautan
- 9) Pusat Study Sains Dasar & Terapan
- 10) Pusat Study Material & Nanoteknology
- 11) Ruang Serbaguna

Suplay sumber air bersih untuk gedung Pusat Riset ITS Surabaya berasal dari PDAM Surabaya.

4.2. Gambar dan Data

Data-data teknis dan non teknis distribusi air bersih diantaranya:

- 1) Jam operasional
- 2) Jumlah unit beban plambing dan kapasitas tiap unit beban plambing
- 3) Panjang pipa instalasi

4.3. Perhitungan Sistem Distribusi Air Bersih

4.3.1. Penaksiran kebutuhan air bersih

Untuk memperkirakan besarnya kebutuhan air bersih, maka digunakan 2 metode penaksiran air bersih yaitu :

- 1) Berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing
- 2) Berdasarkan unit beban alat plambing

Penaksiran kebutuhan air bersih dari tiap-tiap lantai yang dilayani adalah sebagai berikut:

- a) Berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing
 - 1) Jumlah unit beban plambing

Tabel 4.1 Jenis dan jumlah alat plambing tiap lantai

Keterangan	Beban Unit Plambing	Jumlah	Laju Aliran (Ltr/min)	Q (Ltr/min)
Lantai 1				
KM. Wanita	Kloset	2	15	30
	Keran pada kloset	2	10	20
	Lavatory	2	15	30
	Keran	2	10	20
	Total	8		100
KM. Pria	Kloset	2	15	30
	Keran pada kloset	2	10	20
	Lavatory	2	15	30
	Keran	2	10	20
	Urinal	3	3	9
	Total	8		109
KM. Difabel	Kloset	1	15	15
	Keran pada kloset	1	10	10
	Total	2		25
Pantry	Sink	1	15	15
	Total	1		15
Lantai 2 – 8				
KM. Wanita	Kloset	4	15	60
	Keran pada kloset	4	10	40
	Lavatory	3	15	45
	Keran	2	10	20

	Total	13		165
KM. Pria	Kloset	2	15	30
	Keran pada kloset	2	10	20
	Lavatory	1	15	15
	Keran	2	10	20
	Urinal	3	3	9
	Total	8		94
KM. Difabel	Kloset	1	15	15
	Keran pada kloset	1	10	10
	Total	2		25
Pantry	Sink	1	15	15
	Keran	1	10	10
	Total	1		25
Lantai 9 – 11				
KM. Wanita	Kloset	4	15	60
	Keran pada kloset	4	10	40
	Lavatory	3	15	45
	Keran	2	10	20
	Total	13		165
KM. Pria	Kloset	2	15	30
	Keran pada kloset	2	10	20
	Lavatory	1	15	15
	Keran	1	10	10
	Urinal	3	3	9
	Total	8		84
KM. Difabel	Kloset	1	15	15
	Keran pada kloset	1	10	10
	Total	2		25
Pantry	Sink	1	15	15
	Keran	1	10	10
	Total	1		25

- 2) Jam operasional adalah 8 jam.
- 3) Dari tabel 4.1 dimana laju aliran tiap unit beban plambing adalah sebagai berikut (Ref. M.N Soufyan & Takeo Morimura Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing) :

Kloset = 15 ltr/min
 Keran pada kloset = 10 ltr/min

Lavatory	= 15 ltr/min
Keran	= 10 ltr/min
Urinal	= 3 ltr/min
Sink	= 15 ltr/min

- 4) Pemakaian per jam (Q_h).

$$Q_h = 857 \frac{l}{min} = 51,42 \frac{m^3}{jam}$$

- 5) Pemakaian air rata-rata sehari (Q_d).

$$Q_d = Q_h T = 51,42 \frac{m^3}{jam} \times 8 \frac{jam}{hari} = 411,36 \frac{m^3}{hari}$$

- 6) Pemakaian jam puncak (Q_{h-max}).

$$Q_{h-max} = Q_h \times c_1$$

Dimana C_1 = faktor beban puncak = 1,5-2 (Ref. M.N Soufyan & Takeo Morimura Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing)

direncanakan $C_1 = 1,5$ sehingga :

$$Q_{h-max} = C_1 \times Q_h = 1,5 \times 51,42 \frac{m^3}{jam} = 77,13 \frac{m^3}{jam}$$

- 7) Pemakaian menit puncak (Q_{m-max}).

$$Q_{m-max} = \frac{Q_h}{60} \times c_2$$

Dimana C_2 = faktor beban puncak = 3-4 (Ref. M.N Soufyan & Takeo Morimura Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing)

direncanakan $C_2 = 3$ sehingga :

$$(Q_{m-max}) = C_2 \times \left(\frac{Q_h}{60} \right) = 3 \times \left(\frac{51,42}{60} \right) = 2,571 \frac{m^3}{menit}$$

- b) Berdasarkan unit beban alat plambing

Tabel 4.2 Unit beban alat plambing (UBAP) tiap lantai

Keterangan	Beban Unit Plambing	Jumlah	UBAP	Σ UBAP
Lantai 1				
KM. Wanita	Kloset	2	5	10
	Keran pada	2	2	4

	kloset	2	2	4
	Lavatory	2	2	4
	Keran	8		22
	Total			
KM. Pria	Kloset	2	5	10
	Keran pada	2	2	4
	kloset	2	2	4
	Lavatory	2	2	4
	Keran	3	5	15
	Urinal	8		37
	Total			
KM. Difabel	Kloset	1	5	5
	Keran pada	1	2	2
	kloset	2		7
	Total			
Pantry	Sink	1	2	2
	Total	1		2
Lantai 2 – 8				
KM. Wanita	Kloset	4	5	20
	Keran pada	4	2	8
	kloset	3	2	6
	Lavatory	2	2	4
	Keran	13		38
	Total			
KM. Pria	Kloset	2	5	10
	Keran pada	2	2	4
	kloset	1	2	2
	Lavatory	2	2	4
	Keran	3	5	15
	Urinal	8		35
	Total			
KM. Difabel	Kloset	1	5	5
	Keran pada	1	2	2
	kloset	2		7
	Total			
Pantry	Sink	1	2	2
	Keran	1	2	2
	Total	1		4
Lantai 9 – 11				
KM. Wanita	Kloset	4	5	20

	Keran pada kloset	4	2	8
	Lavatory	3	2	6
	Keran	2	2	4
	<u>Keran</u>	<u>13</u>		<u>38</u>
	Total			
KM. Pria	Kloset	2	5	10
	Keran pada kloset	2	2	4
		1	2	2
	Lavatory	1	2	2
	Keran	3	5	15
	<u>Urinal</u>	<u>8</u>		<u>33</u>
	Total			
KM. Difabel	Kloset	1	5	5
	Keran pada kloset	1	2	2
		2		7
	<u>Total</u>			
Pantry	Sink	1	2	2
	Keran	1	2	2
	<u>Total</u>	<u>1</u>		<u>4</u>

- 1) Dari kurva hubungan antara unit beban alat plambing dengan laju aliran yang mana sebagian besar menggunakan sistem tangki gelontor, didapat $Q =$

$$275 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} = 0,275 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}$$

- 2) Pemakaian perjam (Q_h).

$$Q_h = Q_m \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} = 0,275 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} = 16,5 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

- 3) Pemakaian air sehari pada beban puncak (Q_d).

$$Q_d = Q_h \times T = 16,5 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} = 132 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}$$

- 4) Pemakaian jam puncak ($Q_{h-\max}$).

$$Q_{h-\max} = C_1 \times Q_h = 1,5 \times 16,5 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} = 24,75 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

- 5) Pemakaian menit puncak ($Q_{m-\max}$).

$$Q_{m-\max} = C_2 \times \left(\frac{Q_h}{60} \right) = 3 \times \left(\frac{16,5}{60} \right) = 0,825 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}$$

Perbandingan penaksiran kebutuhan air pada unit beban plambing gedung Pusat Riset ITS dapat diketahui pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan metode penaksiran kebutuhan air

Metode	Q_d (m^3 / hari)	Q_h (m^3 / jam)	Q_m (m^3 / menit)	Q_{h-max} (m^3 / jam) $C_1 = 1,5$	Q_{m-max} (m^3 / menit) $C_2 = 3$
Berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing	411,36	51,42	0,857	77,13	2,571
Berdasarkan unit beban plambing	132	16,5	0,275	24,75	0,825

Kebutuhan air yang dipakai dalam perhitungan adalah kebutuhan air yang terbesar, sehingga data metode berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan.

4.3.2. Pemilihan sistem penyediaan dan pipa air bersih

4.3.2.1. Pemilihan sistem penyediaan air bersih

Gedung Pusat Riset ITS Surabaya terdiri dari 11 lantai dimana pelayanan air bersihnya sari suatu tempat yaitu *pump house*. Beberapa lantai memiliki karakteristik kebutuhan air yang berbeda-beda tergantung pada pemakaian dari tiap gedung dan jumlah alat plambingnya.

Pemilihan sistem penyediaan air bersih menggunakan sistem tangki bawah dimana air bersih dari tangki bawah dipompakan ke tangki atap kemudian dipompa menurun ke unit beban plambing pada tiap lantai, kemudian aliran menuju cabang-cabang pipa distribusi untuk melayani unit beban.

4.3.3. Perhitungan tangki air

Perencanaan volume tangki sebagai berikut :

- a) Perhitungan volume tangki air bawah belum memperhatikan adanya tambahan volume untuk pemadam kebakaran.
- b) Tangki air bawah dan atas direncanakan berbentuk kubus.

4.3.3.1. Volume Tangki Bawah (Reservoir Bawah)

Besar kapasitas tangki air yang digunakan bergantung pada besar kebutuhan air tiap hari dan kapasitas suplai air ke tangki selama waktu pemakaian.

$$V_R = Q_d - (Q_s \times T)$$

(soufyan M. Noerbambang, Takeo Morimura, hal 96)

Dimana : V_R = Volume tangki air bawah (m^3)

Q_d = Jumlah kebutuhan air per hari (m^3 / hari)

$$= 411,36 \text{ } m^3/\text{hari}$$

Q_s = Kapasitas pipa *supply* (m^3 / jam)

$$= 2/3 \text{ } Q_h = 2/3 \times 51,42 \text{ } m^3/\text{jam}$$

$$= 34,28 \text{ } m^3/\text{jam}$$

T = Rata-rata pemakaian tiap hari (jam/hari)

$$= 8 \text{ jam/hari}$$

Sehingga volume tangki air bawah :

$$V_R = 411,36 \frac{m^3}{\text{hari}} - \left(34,28 \frac{m^3}{\text{jam}} \times 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \right)$$

$$= 137,12 \frac{m^3}{\text{hari}}$$

$$= \frac{137,12 \frac{m^3}{\text{hari}}}{8 \text{ jam}} = 17,14 \text{ } m^3 \approx 20 \text{ } m^3$$

4.3.3.2. Volume Tangki Atas (Reservoir Atas)

Besar volume tangki air yang digunakan bergantung pada besar kebutuhan air tiap hari pada tiap unit beban.

$$V_E = \left((Q_p - Q_{max}) \times T_p \right) - (Q_{pu} \times T_{pu})$$

(soufyan M. Noerbambang, Takeo Morimura, hal 97)

Dimana : V_E = Volume efektif tangki atas (m^3)

$$\begin{aligned}
Q_p &= \text{Kebutuhan puncak } (m^3 / \text{menit}) = Q_{m-max} \\
Q_{max} &= \text{Kebutuhan jam puncak } (m^3 / \text{menit}) = Q_{pu} \\
Q_{pu} &= \text{Kapasitas pompa pengisi } (m^3 / \text{menit}) \\
&= 2/3 Q_p \\
T_p &= \text{Jangka waktu kebutuhan puncak (menit)} \\
&= 30 \text{ menit} \\
T_{pu} &= \text{Jangka waktu kerja pompa pengisi (menit)} \\
&= 10 - 15 \text{ menit}
\end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
V_E &= ((Q_p - Q_{max}) \times T_p) - (Q_{pu} \times T_{pu}) \\
V_E &= \left(\left(2,571 \frac{m^3}{\text{menit}} - 1,714 \frac{m^3}{\text{menit}} \right) \times 30 \text{menit} \right) - \\
&\quad \left(1,714 \frac{m^3}{\text{menit}} \times 10 \text{menit} \right)
\end{aligned}$$

$$V_E = 8,57 m^3$$

4.3.4. Kapastitas pompa

$$Q_{PU} = \frac{2}{3} \times Q_p$$

Dimana :

Q_{pu} = kapasitas pompa pengisi tangki (m^3 / min)

Q_p = kebutuhan puncak (m^3 / min) = Q_{m-max}

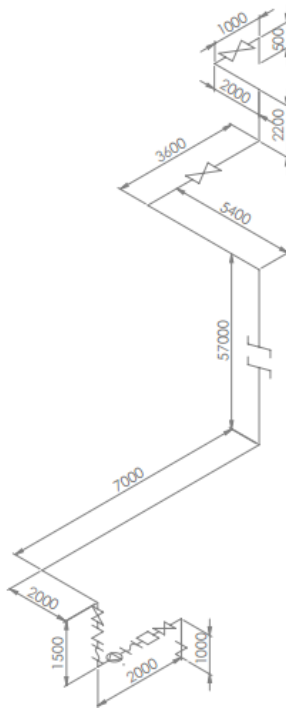
Sehingga :

$$\begin{aligned}
Q_{PU} &= \frac{2}{3} \times Q_p \\
&= \frac{2}{3} \times 2,571 \\
&= 1,714 m^3 / \text{min} \\
&= 0,0285 m^3 / s
\end{aligned}$$

4.3.5. Perencanaan dimensi pipa

- 1) Pipa penyediaan air bersih menggunakan PVC.
- 2) Asumsi kecepatan aliran pipa adalah 1-3 m/sec.
- 3) Diameter pipa yang didapat dari hasil perhitungan disesuaikan dengan properties pipa yang ada di pasaran.

4.3.5.1 Gambar instalasi pompa utama



Gambar 4.1. Instalasi pompa utama

4.3.5.2. Pipa suction

Apabila diketahui kapasitas kebutuhan air dari tiap unit beban, maka diameter pipa suction dapat dihitung sebagai berikut.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Dimana : D = diameter dalam pipa (m)

Q = kapasitas aliran (m^3/s)

V = kecepatan aliran (m/s), diasumsikan = 2 m/s

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \times (0,0285 \frac{m^3}{s})}{3,14 \times 2 \frac{m}{s}}} = 0,134732 \text{ m} = 134,732 \text{ mm}$$

Dengan menyesuaikan *properties* pipa yang ada di pasaran, maka dipilih pipa PVC standard schedule 80 dengan diameter nominal (NPS) = 6inch dengan inside diameter (ID) = 146,329mm. Maka kecepatan aliran di dalam pipa sebenarnya adalah

$$V_s = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times (0,0285 \frac{m^3}{s})}{3,14 \times (0,1463 \text{ m})^2} = 1,6962 \frac{m}{det}$$

4.3.5.2.1. Head Loss pada pipa suction

➤ Head Loss Mayor

Data-data yang diketahui

- $L_s = 2 \text{ m}$
- $D_s = 0,1463 \text{ m}$
- $V_s = 1,6962 \text{ m/det}$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Re} &= \frac{V_s \times D_s}{\nu} \\ &= \frac{1,6962 \times 0,1463}{8,01 \times 10^{-7}} \\ &= 309805,3184 \\ &= 3 \times 10^5 \end{aligned}$$

Dengan diameter 0,1463m didapatkan $Re = 3 \times 10^5$ sedangkan untuk mendapatkan nilai f digunakan persamaan Colebrook yaitu

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{0,0000015}{3,7 \times 0,1463} + \frac{5,74}{309805} \right) \right]^2} = 0,01145$$

Sehingga nilai head loss minor pipa suction adalah

$$h_l = f \times \frac{l}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$h_l = 0,01145 \times \frac{2}{0,1463} \times \frac{(1,6962)^2}{2 \times 9,8} = 0,02297 \text{ m}$$

➤ Head Loss Minor

Head Loss Minor adalah kerugian gesek yang ditimbulkan karena adanya fitting / aksesoris di sepanjang pipa instalasi. Nilainya dapat diketahui melalui persamaan berikut

$$h_{lm} = k \times \frac{V^2}{2g}$$

Fitting yang terdapat sepanjang pipa suction adalah

- 1 buah foot valve = 6,3
- 1 buah gate valve = 0,12
- 1 buah strainer = 1
- 1 buah flexible joint = 1,7
- 1 buah elbow 90° = 0,9

Maka head loss minor pipa suction adalah :

$$h_{lm} = (6,3 + 0,12 + 1 + 1,7 + 0,9) \times \frac{(1,6962)^2}{2g}$$

$$= 1,47084 \text{ m}$$

- Head loss total pipa suction

$$h_{lt} = h_l + h_{lm}$$

$$= 0,02297 \text{ m} + 1,47084 \text{ m}$$

$$= 1,49381 \text{ m}$$

4.3.5.3Pipa discharge

Data-data V dan D sama dengan data pada pipa suction.

4.3.5.3.1. Head Loss pada pipa discharge

- Head Loss Mayor

Data-data yang diketahui

- Ld= 83,2m
- Dd = 0,1463 m
- Vd = 1,6962 m/det

$$\text{Nilai Re} = \frac{V_s \times D_s}{\nu}$$

$$= \frac{1,6962 \times 0,1463}{8,01 \times 10^{-7}}$$

$$= 309805,3184$$

$$= 3 \times 10^5$$

Dengan diameter 0,1463 m didapatkan $\text{Re} = 3 \times 10^5$ sedangkan untuk mendapatkan nilai f digunakan persamaan Colebrook yaitu

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{0,0000015}{3,7 \times 0,1463} + \frac{5,74}{309805} \right) \right]^2} = 0,01145$$

Sehingga nilai head loss minor pipa discharge adalah

$$h_l = f \times \frac{l}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$h_l = 0,01145 \times \frac{83,2}{0,1463} \times \frac{(1,6962)^2}{2 \times 9,8} = 0,95583 \text{ m}$$

➤ Head Loss Minor

Head Loss Minor adalah kerugian gesek yang ditimbulkan karena adanya fitting / aksesoris di sepanjang pipa instalasi. Nilainya dapat diketahui melalui persamaan berikut

$$h_{lm} = k \times \frac{V^2}{2g}$$

Fitting yang terdapat sepanjang pipa discharge adalah

- 1 buah flexible joint = 1,7
- 1 buah check valve = 2,3
- 3 buah gate valve = 0,12
- 10 buah elbow 90° = 0,9

Maka head loss minor pipa discharge adalah :

$$\begin{aligned} h_{lm} &= (1,7 + 2,3 + (3 \times 0,12) \\ &\quad + (10 \times 0,9)) \times \frac{(1,6962)^2}{2 \times 9,8} \\ &= 1,96112 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ Head loss total pipa discharge

$$\begin{aligned} h_{lt} &= h_l + h_{lm} \\ &= 0,95583 \text{ m} + 1,96112 \text{ m} \\ &= 2,91695 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum H_{lt} &= h_{lt} \text{ suction} + h_{lt} \text{ discharge} \\ &= 1,49381 \text{ m} + 2,91695 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 4,41076 \text{ m}$$

4.4. Perhitungan pompa

Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah :

- Menghitung head efektif instalasi
- Menghitung kapasitas kebutuhan
- Menentukan putaran pompa dan jenis pompa
- Memilih tipe pompa

4.4.1. Head efektif instalasi

$$H_{eff} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + \sum H_{lt}$$

Karena $P_2 = P_1 =$ tekanan atmosfer dan $V_1 = 0$, sehingga:

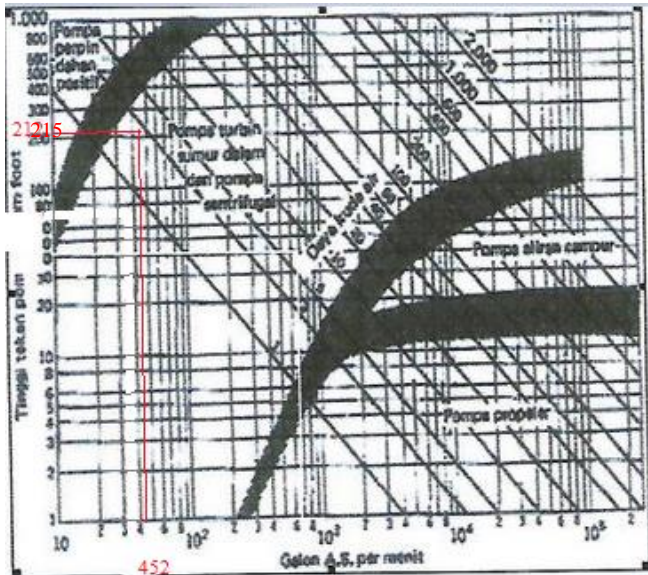
$$\begin{aligned} &= \frac{(V_2)^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + \sum H_{lt} \\ &= \frac{\left(1,6962 \frac{\text{m}}{\text{det}}\right)^2}{2 \times 9,8} + (60,7 - (-0,5\text{m})) + \sum H_{lt} \\ &= 0,1467 \text{ m} + 61,2 \text{ m} + 4,41076 \text{ m} \\ &= 65,757 \text{ m} \end{aligned}$$

4.4.2. Pemilihan pompa

Parameter pertimbangan pemilihan pompa adalah sebagai berikut :

4.4.2.1. Pertimbangan Jenis dan Tipe Pompa

Pemilihan terhadap suatu jenis pompa berdasarkan head dan kapasitas yang telah diketahui. Sebagai acuan awal jenis pompa mana yang akan digunakan setelah diketahui besarnya head yang didapatkan dan kapasitas yang diinginkan dapat dilihat pada gambar di bawah. (Ref. Hicks, Tyler G. Teknologi Pemakaian Pompa)



Gambar 4.2. Pemilihan jenis pompa

Dari gambar di atas untuk kondisi $Q = 1,714 \text{ m}^3 / \text{min} = 452,79 \text{ Gpm}$ dan $H = 65,757 \text{ m} = 215,739 \text{ ft}$, maka pompa yang sesuai untuk instalasi yang ada adalah jenis sentrifugal.

Setelah didapatkan jenis pompa apa yang digunakan, selanjutnya dari jenis pompa tersebut dapat diketahui lebih detail lagi tentang jumlah stage yang dibutuhkan pompa dengan cara sebagai berikut :

$$n_{s1} = 3,65 \frac{n\sqrt{Q_s}}{\sqrt[4]{H_1^3}}$$

$$n_{s1} = 3,65 \frac{n\sqrt{Q_s}}{\sqrt[4]{\left(\frac{H}{i}\right)^3}} = 3,65 \frac{n\sqrt{Q_s}}{\sqrt[4]{H^3}} \sqrt[4]{i^3} = n_s \sqrt[4]{i^3}$$

$$i = \sqrt[3]{\left(\frac{n_{si}}{n}\right)^4} = \left(\frac{n_{si}}{n_s}\right)^{\frac{4}{3}}$$

Dimana :

i = jumlah stage

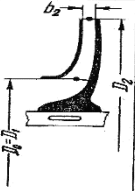
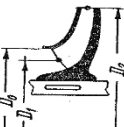
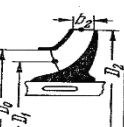


H = head pompa (m)

n = jumlah putaran (n) (nilai dari data sheet pompa)

Q = kapasitas pompa (m^3/min)

sehingga :

$$n_s = 3,65 \frac{(2951 \text{ rpm}) \left(\frac{1,714 \text{ m}^3/\text{min}}{60}\right)^{\frac{1}{2}}}{(65,757 \text{ m})^{\frac{3}{4}}} = 78,84 \text{ rpm}$$

Centrifugal pumps			Mixed-flow impeller	Axial-flow impeller
Low-speed impeller	Moderate-speed impeller	High-speed impeller		
				
$n_{sf} = 40-80$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 2.5$	$n_{sf} = 80-150$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 2$	$n_{sf} = 150-300$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1.8-1.4$	$n_{sf} = 300-600$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1.2-1.1$	$n_{sf} = 600-2000$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 0.8$

Gambar 4.3 putaran spesifik dan bentuk impeller
(Sumber :Khetagurov, *Marine Auxiliary Machinery and System*)

n_{si} = dipilih impeller jenis *high speed impeller* = 200

$$\text{dan } i = \left(\frac{200}{78,84}\right)^{\frac{4}{3}} = 3,4 \approx 4$$

sehingga pompa yang dipilih adalah pompa sentrifugal 4 stage.

4.4.2.2. Pertimbangan letak poros pompa

Letak poros pompa apakah pompa itu dipilih poros pompa horizontal atau poros pompa vertikal, tergantung pada sifat cairan yang dipompakan dan tata letak instalasi.

Pompa dengan letak poros horizontal dipilih apabila fluida fluida kerja yang dipompa tidak bersifat korosif dan instalasinya sangat kecil untuk terjadinya kavitasi. Sedangkan pompa dengan letak poros vertikal digunakan jika fluida kerja yang dipompa bersifat korosif dan tidak diijinkan sama sekali untuk terjadinya kavitasi serta melihat tata letak instalasi yang memungkinkan.

Tabel 4.4. Perbandingan karakteristik pompa horizontal dan pompa vertikal

Parameter yang Dibandingkan	Pompa Horizontal	Pompa Vertikal	Keterangan
Memancing sebelum start	Diperlukan	Tidak diperlukan	Untuk kerja menghisap
NPSH yang tersedia	Kecil	Besar	Untuk kerja menghisap
Luas ruang instalasi	Besar	Kecil	
Tinggi bangunan Rumah pompa	Rendah	Tinggi	
Berat	Kecil	Besar	

Pompa horizontal dan vertikal memiliki sifat-sifat seperti yang ditunjukkan tabel diatas, dan pemilihannya didasarkan mempertimbangkan berbagai aspek, antara lain jenis fluida, tata letak lokasi instalasi, dan waktu pengisian tangki penampung.

Dengan pertimbangan jenis fluida kerja yang dipompakan dan tata letak instalasi yang ada, maka dipilih pompa dengan letak poros vertikal. Sehingga pompa yang sesuai untuk instalasi yang ada adalah pompa jenis non positive displacement tipe single suction dengan poros vertikal.

4.4.2.3 . Perhitungan Daya dan Efisiensi

Dari data-data yang telah didapatkan maka daya dan efisiensi dapat kita tentukan :

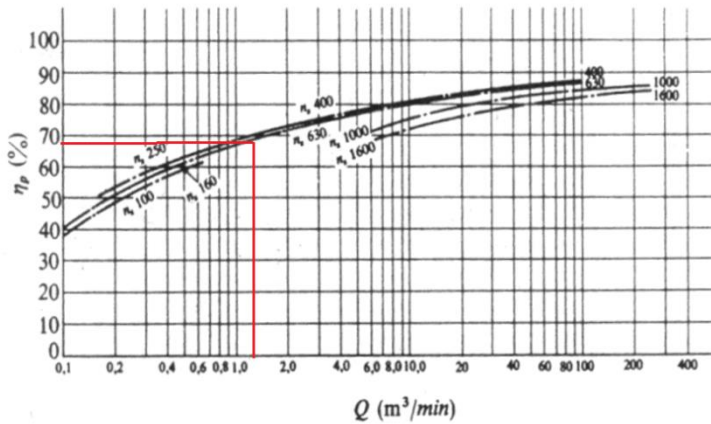
$$n_s = n \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Dimana :

n = jumlah putaran (rpm) (nilai dari data sheet pompa)
 Q = kapasitas pompa (m^3 / min)
 H = head pompa (m)

Maka :

$$n_s = 2951 \text{ rpm} \frac{(1,714 \text{ m}^3 / \text{min})^{\frac{1}{2}}}{(65,757 \text{ m})^{\frac{3}{4}}} = 167,308 \text{ rpm}$$



Gambar 4.4 Efisiensi standard pompa sentrifugal menurut n_s

Dari gambar di atas, dengan $Q = 1,714 \text{ m}^3 / \text{min}$ dan $n_s = 167,308 \text{ rpm}$ didapatkan efisiensi (η) sebesar 66%

Water Horse Power (WHP)

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \gamma \cdot Q \cdot H \\ &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \end{aligned}$$

Dimana :

WHP = water horse power

$$\begin{aligned} \gamma &= \rho \cdot g \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 9810 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

Q = kapasitas pompa = $1,714 \text{ m}^3 / \text{min} = 0,0195 \text{ m}^3 / \text{det}$

det

H = head pompa = 65,757 m

Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{WHP} &= V \cdot Q \cdot H \\
 &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \\
 &= 9810 \text{ N/m}^3 \times 0,0195 \text{ m}^3 / \text{det} \times 65,757 \text{ m} \\
 &= 12578,785 \text{ watt} \\
 &= 12,578 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Break Horse Power (BHP)

$$\begin{aligned}
 \text{BHP} &= \frac{\text{WHP}}{\eta} \\
 &= \frac{12,578 \text{ kW}}{0,66} \\
 &= 19,057 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Maka dari itu daya nominal penggerak mula dapat kita hitung dengan cara :

$$P_m = \frac{\text{BHP} (1 + \alpha)}{\eta_t}$$

Dimana :

P_m = daya motor penggerak mula (kW)

α = factor cadangan pecahan (tabel)

η_t = efisiensi transmisi (tabel)

Tabel 4.5 Faktor Cadangan

Jenis Penggerak Mula	α
Motor Induksi	0,1-0,2
Motor Bakar Kecil	0,15-0,25
Motor Bakar Besar	0,1-0,2

Tabel 4.6 Efisiensi Transmisi

Jenis Transmisi		η_t
Sabuk Rata		0,9-0,93
Sabuk – V		0,95
Roda Gigi	Roda gigi lurus satu tingkat	0,92-0,95
	Roda gigi miring satu tingkat	0,95-0,98
	Roda gigi kerucut satu tingkat	0,92-0,96
	Roda gigi planiter satu tingkat	0,95-0,98
Kopling Hidrolik		0,95-0,97

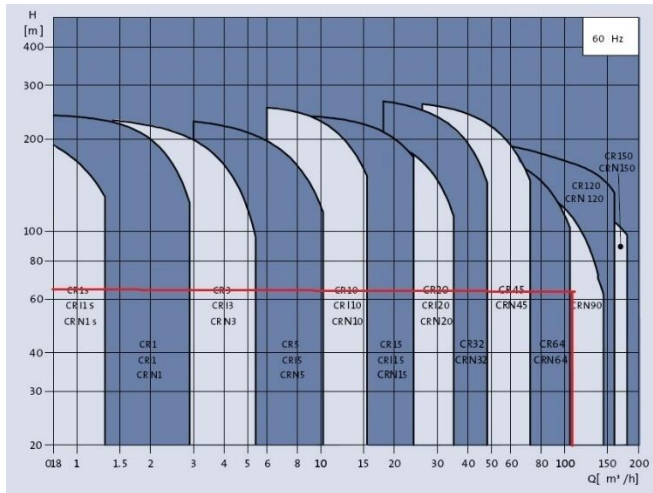
Maka :

$$P_m = \frac{19,057 (1 + 0,2)}{0,95} = 24,072 \text{ kW}$$

4.4.2.4. Pemilihan Jenis dan Titik Kerja Pompa

Dari perhitungan head dan kapasitas didapatkan koefisien head dan koefisien kapasitas, maka dari gambar dibawah dapat dipilih pompa yang akan dipakai.

(Bagian ini sengaja dikosongkan)



Gambar 4.5. Grafik pemilihan pompa utama

Maka pompa yang dipilih adalah jenis jenis :

Jenis pompa : Sentrifugal dengan poros vertikal
 Putaran : 2951 rpm
 Merk / tipe : Grundfos / CRN 90 4-2
 Stage : 4



Gambar 4.6. Pompa Grundfos CRN 90 4-2

Dari gambar 4.4 untuk kondisi operasi yang telah direncanakan ($Q = 1,714 \text{ m}^3 / \text{min} = 452,79 \text{ Gpm}$ dan $H = 65,757 \text{ m} = 215,739 \text{ ft}$), diperoleh pompa gundfors CRN 90 4-2.

Setelah ditentukan pompa yang digunakan, selanjutnya dalam menentukan letak ketinggian pompa khususnya dari reservoir suction sangat bergantung pada nilai NPSH yang diperlukan (NPSHr) maupun NPSH yang tersedia (NPSHa).

Sehingga dalam penggunaan pompa agar tidak terjadi kavitasi maka persyaratan yang harus dipenuhi yaitu $\text{NPSHa} > \text{NPSHr}$.

Adapun NPSHr bergantung dari pompa yang digunakan serta kapasitas dan headnya serta biasanya harga NPSHr dapat diperoleh dari pabrik pompa yang bersangkutan.

(Bagian ini sengaja dikosongkan)

mendapatkan besarnya *head efektif* yang dibutuhkan, maka dalam pengoperasian pompa dilakukan dengan throttling. Pada $H_{pl_{throttling}}$ (warna hijau) di dapatkan *head efektif* = 66 m, efisiensi = 66%. Sedangkan NPSHa didapat dari melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan :

$$NPSHa = \frac{Pa}{\gamma} - \frac{Pv}{\gamma} - h_s - \sum H_l$$

Dimana :

NPSH = NPSH yang tersedia pada instalasi (m)

Pa = tekanan atmosfer diatas permukaan cairan pada suction reservoir

$$= 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$\gamma = \rho \cdot g = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ N/m}^3$$

Pv = tekanan uap cairan yang dipompakan pada temperature pemompaan.

$$= 2,35 \text{ KPa} = 2350 \text{ Pa (Lampiran dengan } T = 20^\circ\text{C)}$$

Hs = head isap statis = 1,5 m

$\sum H_l$ = kerugian head dalam pipa suction = 1,49381 m

Sehingga,

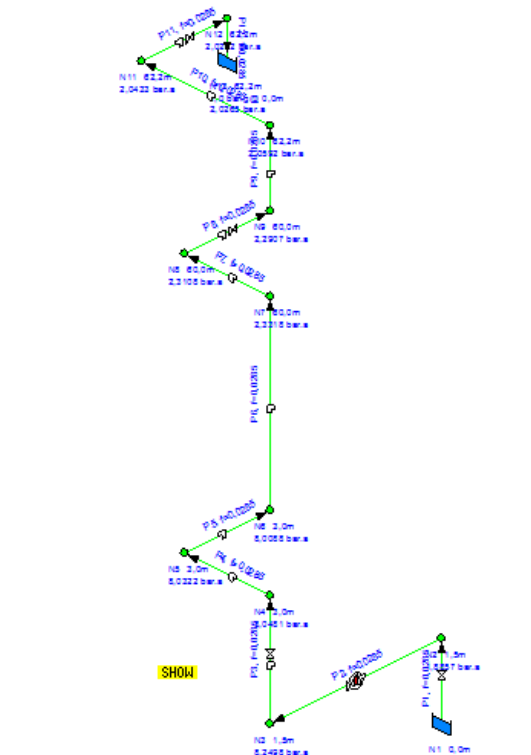
$$\begin{aligned} NPSHa &= \frac{101325 \text{ Pa}}{9810 \text{ N/m}^3} - \frac{2350 \text{ Pa}}{9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + 1,5 \text{ m} - 1,49381 \text{ m} \\ &= 10,0938 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan instalasi NPSHa = 10,0938 m, maka instalasi pompa tersebut aman dari kavitasi karena NPSHa > NPSHr

4.5. Perhitungan Secara Pemodelan Numerik

Dengan menggunakan *software Pipe Flow Expert v6.39*, maka selain perhitungan secara manual, perhitungan secara pemodelan *numerik* pun dapat dilakukan.

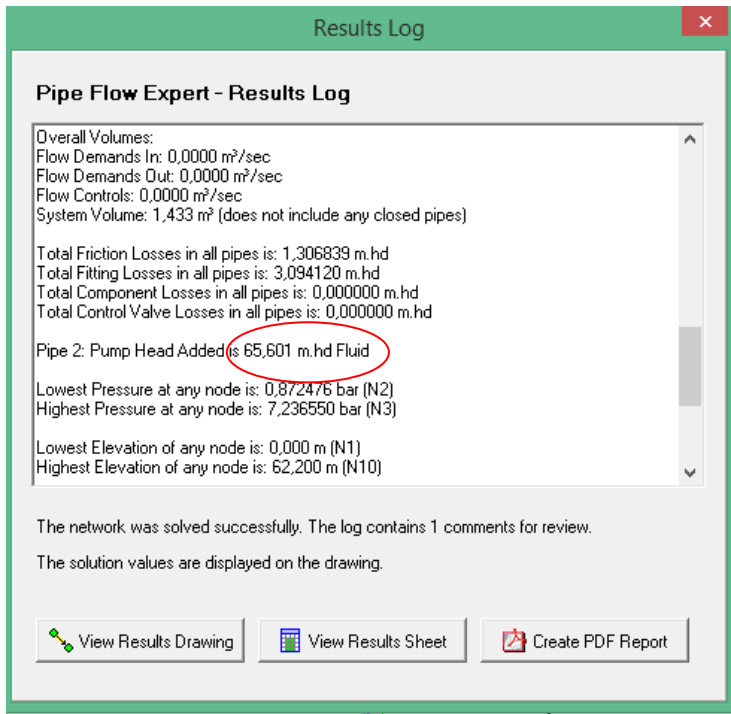
Dengan langkah- langkah memulai program seperti pada Bab III *Flowchart Pipe Flow Expert*, maka akan didapatkan gambar instalasi seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Instalasi Pompa

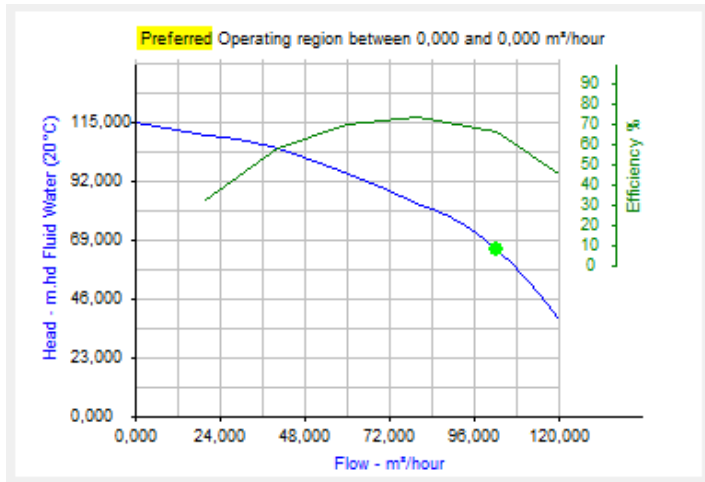
(Sumber :Pipe Flow Expert v6.39)

Lalu untuk mendapatkan data-data yang diperlukan , khususnya *head* total pompa, maka dengan mengklik *calculate*.



Gambar 4.9 Hasil Setelah Di *Calculate*

Dengan melihat gambar 4.9, didapatkan harga :*Head*
 Total Pompa = 64,547 m Hd Fluid.



Gambar 4.10 Grafik Pompa setelah di *calculate*

4.6 Perbandingan Head Efektif Teoritis (H_{eff}) dengan Head Efektif Numerik ($H_{eff\ PFE}$)

Dengan berdasar pada kedua perhitungan head efektif instalasi di atas apat diketahui tingkat kesalahan perhitungan adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Prosen } error \text{ Head} &= \frac{65,757 \text{ m} - 65,601 \text{ m}}{65,757 \text{ m}} \times 100\% \\
 &= 0,23 \%
 \end{aligned}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pada perhitungan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Jumlah kebutuhan air bersih di Gedung Pusat Riset ITS berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing yang apabila semuanya bekerja secara serempak besarnya adalah $51,41 \text{ m}^3/\text{jam}$ atau $411,36 \text{ m}^3/\text{hari}$.
2. Volume tangki bawah yang dibutuhkan = $17,14 \text{ m}^3 \approx 20 \text{ m}^3$ sedangkan volume tangka atas = $8,57 \text{ m}^3$
3. Head efektif instalasi yang harus dipenuhi adalah $65,757 \text{ m}$.
4. Pompa yang digunakan dalam perencanaan ulang instalasi adalah jenis sentrifugal dengan poros vertikal : Grundfos CRN 90 4-2 yang memiliki 4 stage dengan putaran 2951 rpm.

5.2.Saran

Saran-saran yang dapat diberikan setelah melakukan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Perlu adanya *Standard Operation Procedure (SOP)* dan *Maintenance Manual* guna menjaga performa pompa.

DAFTAR PUSTAKA

Fox, Robert W; Mc Donald, Alan T. 2010. **Introduction To Fluid Mechanics ,8th edition**. New York: Jhon Wiley and Sons, inc.

Karrasik, Igor J ; William C, Warren H. 2000. **Pump Handbook 3th edition** .New York: McGraw-Hill Professional.

Moran, Michael J ; Shapiro, Howard N ; dkk. 2011. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th**. New York: Jhon Wiley and Sons, inc.

Sularso ; Tahara, Haruo. 2006. **Pompa dan Kompresor**. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Soufyan M. N. ; Morimura, Takeo. 2000. **Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Hicks ; Tyler G. Alih Bahasa : Zulkifli Harahap. 1996. **Teknologi Pemakaian Pompa**. Jakarta : Erlangga

SNI 03-7065-2005. sistem plambing

Khetagurov, M. 1970. **Marine Auxiliary Machinery and System**. Moscow : Peace Publishers.

LAMPIRAN 1: TABEL KONVERSI

TABLE A.1 Conversion Factors		
Area		
$1 \text{ mm}^2 = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$	$1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in.}^2$	
$1 \text{ cm}^2 = 1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.1550 \text{ in.}^2$	$1 \text{ in.}^2 = 6.4516 \text{ cm}^2 = 6.4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	
$1 \text{ m}^2 = 10.7639 \text{ ft}^2$	$1 \text{ ft}^2 = 0.092903 \text{ m}^2$	
Conductivity		
$1 \text{ W/m-K} = 1 \text{ J/s-m-K}$ $= 0.577789 \text{ Btu/h-ft-R}$	$1 \text{ Btu/h-ft-R} = 1.730735 \text{ W/m-K}$	
Density		
$1 \text{ kg/m}^3 = 0.06242797 \text{ lbm/ft}^3$	$1 \text{ lbm/ft}^3 = 16.01846 \text{ kg/m}^3$	
$1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$		
$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L}$		
Energy		
$1 \text{ J} = 1 \text{ N-m} = 1 \text{ kg-m}^2/\text{s}^2$		
$1 \text{ J} = 0.737562 \text{ lbf-ft}$	$1 \text{ lbf-ft} = 1.355818 \text{ J}$	
$1 \text{ cal (Int.)} = 4.1868 \text{ J}$	$= 1.28507 \times 10^{-3} \text{ Btu}$	
$1 \text{ erg} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ J}$	$1 \text{ Btu (Int.)} = 1.055056 \text{ kJ}$	
$1 \text{ eV} = 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ J}$	$= 778.1693 \text{ lbf-ft}$	
Force		
$1 \text{ N} = 0.224809 \text{ lbf}$	$1 \text{ lbf} = 4.448222 \text{ N}$	
$1 \text{ kp} = 9.80665 \text{ N} (1 \text{ kgf})$		
Gravitation		
$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$	$g = 32.17405 \text{ ft/s}^2$	
Heat capacity, specific entropy		
$1 \text{ kJ/kg-K} = 0.238846 \text{ Btu/lbm-R}$	$1 \text{ Btu/lbm-R} = 4.1868 \text{ kJ/kg-K}$	
Heat flux (per unit area)		
$1 \text{ W/m}^2 = 0.316998 \text{ Btu/h-ft}^2$	$1 \text{ Btu/h-ft}^2 = 3.15459 \text{ W/m}^2$	
Heat transfer coefficient		
$1 \text{ W/m}^2\text{-K} = 0.17611 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-R}$	$1 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-R} = 5.67826 \text{ W/m}^2\text{-K}$	
Length		
$1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m} = 0.1 \text{ cm}$	$1 \text{ ft} = 12 \text{ in.}$	
$1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m} = 10 \text{ mm} = 0.3937 \text{ in.}$	$1 \text{ in.} = 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m}$	
$1 \text{ m} = 3.28084 \text{ ft} = 39.370 \text{ in.}$	$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$	
$1 \text{ km} = 0.621371 \text{ mi}$	$1 \text{ mi} = 1.609344 \text{ km}$	
$1 \text{ mi} = 1609.3 \text{ m (US statute)}$	$1 \text{ yd} = 0.9144 \text{ m}$	

Sumber : Richard E. Sonntag, Claus Borgnakke
(FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMIC 5th Edition)

LAMPIRAN 2: LANJUTAN TABEL KONVERSI

TABLE A.1 (Continued) Conversion Factors	
Specific kinetic energy (V^2)	
$1 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 0.001 \text{ kJ/kg}$	$1 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 3.9941 \times 10^{-5} \text{ Btu/lbm}$
$1 \text{ kJ/kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$	$1 \text{ Btu/lbm} = 25037 \text{ ft}^2/\text{s}^2$
Specific potential energy (Zg)	
$1 \text{ m-g}_{\text{air}} = 9.80665 \times 10^{-3} \text{ kJ/kg}$	$1 \text{ ft-g}_{\text{air}} = 1.0 \text{ lbf-ft/lbm}$
$= 4.21607 \times 10^{-3} \text{ Btu/lbm}$	$= 0.001285 \text{ Btu/lbm}$
	$= 0.002989 \text{ kJ/kg}$
Specific volume	
$1 \text{ cm}^3/\text{g} = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$	
$1 \text{ cm}^3/\text{g} = 1 \text{ L/kg}$	
$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.01846 \text{ ft}^3/\text{lbm}$	$1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperature	
$1 \text{ K} = 1^\circ\text{C} = 1.8 \text{ R} = 1.8 \text{ F}$	$1 \text{ R} = (5/9) \text{ K}$
$\text{TC} = \text{TK} - 273.15$	$\text{TF} = \text{TR} - 459.67$
$= (\text{TF} - 32)/1.8$	$= 1.8 \text{ TC} + 32$
$\text{TK} = \text{TR}/1.8$	$\text{TR} = 1.8 \text{ TK}$
Universal Gas Constant	
$R = N_A k = 8.31451 \text{ kJ/kmol-K}$	$R = 1.98589 \text{ Btu/lbmol-R}$
$= 1.98589 \text{ kcal/kmol-K}$	$= 1545.36 \text{ lbf-ft/lbmol-R}$
$= 82.0578 \text{ atm-L/kmol-K}$	$= 0.73024 \text{ atm-ft}^3/\text{lbmol-R}$
	$= 10.7317 (\text{lbf/in.}^2)\text{-ft}^3/\text{lbmol-R}$
Velocity	
$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$	$1 \text{ ft/s} = 0.681818 \text{ mi/h}$
$= 3.28084 \text{ ft/s}$	$= 0.3048 \text{ m/s}$
$= 2.23694 \text{ mi/h}$	$= 1.09728 \text{ km/h}$
$1 \text{ km/h} = 0.27778 \text{ m/s}$	$1 \text{ mi/h} = 1.46667 \text{ ft/s}$
$= 0.91134 \text{ ft/s}$	$= 0.44704 \text{ m/s}$
$= 0.62137 \text{ mi/h}$	$= 1.609344 \text{ km/h}$
Volume	
$1 \text{ m}^3 = 35.3147 \text{ ft}^3$	$1 \text{ ft}^3 = 2.831685 \times 10^{-2} \text{ m}^3$
$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 0.001 \text{ m}^3$	$1 \text{ in.}^3 = 1.6387 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
$1 \text{ Gal (US)} = 3.785412 \text{ L}$	$1 \text{ Gal (UK)} = 4.546090 \text{ L}$
$= 3.785412 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	$1 \text{ Gal (US)} = 231.00 \text{ in.}^3$

Sumber : Richard E. Sonntag, Claus Borgnakke
(FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMIC 5th Edition)

LAMPIRAN 3: LANJUTAN TABEL KONVERSI

TABLE A.1 (Continued) <i>Conversion Factors</i>			
Mass			
1 kg	= 2.204 623 lbm	1 lbm	= 0.453 592 kg
1 tonne	= 1000 kg	1 slug	= 14.5939 kg
1 grain	= 6.47989×10^{-5} kg	1 ton	= 2000 lbm
Moment (torque)			
1 N-m	= 0.737 562 lbf-ft	1 lbf-ft	= 1.355 818 N-m
Momentum (mV)			
1 kg-m/s	= 7.232 94 lbm-ft/s	1 lbm-ft/s	= 0.138 256 kg-m/s
	= 0.224 809 lbf-s		
Power			
1 W	= 1 J/s = 1 N-m/s	1 lbf-ft/s	= 1.355 818 W
	= 0.737 562 lbf-ft/s		= 4.626 24 Btu/h
1 kW	= 3412.14 Btu/h	1 Btu/s	= 1.055 056 kW
1 hp (metric)	= 0.735 499 kW	1 hp (UK)	= 0.7457 kW
			= 550 lbf-ft/s
			= 2544.43 Btu/h
1 ton of refrigeration	= 3.516 85 kW	1 ton of refrigeration	= 12 000 Btu/h
Pressure			
1 Pa	= 1 N/m ² = 1 kg/m-s ²	1 lbf/in. ²	= 6.894 757 kPa
1 bar	= 1.0×10^5 Pa = 100 kPa	1 atm	= 14.695 94 lbf/in. ²
1 atm	= 101.325 kPa		= 29.921 in. Hg [32 F]
	= 1.01325 bar		= 33.899 5 ft H ₂ O [4°C]
	= 760 mm Hg [0°C]		
	= 10.332 56 m H ₂ O [4°C]		
1 torr	= 1 mm Hg [0°C]	1 in. Hg [0°C]	= 0.49115 lbf/in. ²
1 mm Hg [0°C]	= 0.133 322 kPa	1 in. H ₂ O [4°C]	= 0.036126 lbf/in. ²
1 m H ₂ O [4°C]	= 9.806 38 kPa		
Specific energy			
1 kJ/kg	= 0.42992 Btu/lbm	1 Btu/lbm	= 2.326 kJ/kg
	= 334.55 lbf-ft/lbm	1 lbf-ft/lbm	= 2.98907×10^{-3} kJ/kg
			= 1.28507×10^{-3} Btu/lbm

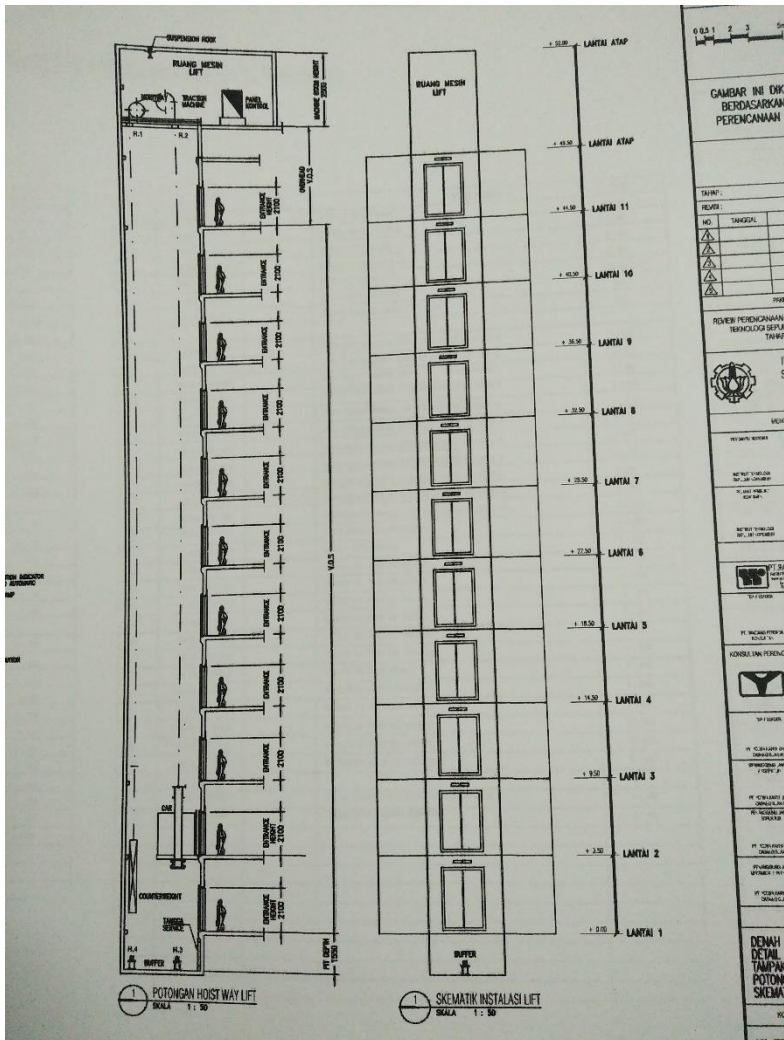
Sumber : Richard E. Sonntag, Claus Borgnakke
(FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMIC 5th Edition)

**LAMPIRAN 4 :TabelPemakaian Air Rata-rata Per Orang
SetiapHari**

	Jenis gedung	Pemakaian air rata-rata sehari (liter)	Jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari (jam)	Perbandingan luas lantai efektif/total (%)	Keterangan
1	Perumahan mewah	250	8-10	42-45	Setiap penghuni
2	Rumah biasa	160-250	8-10	50-53	Setiap penghuni
3	Apartment	200-250	8-10	45-50	Mewah 250 liter Menengah 180 liter Bujangan 120 liter Bujangan
4	Asrama	120	8		
5	Rumah sakit	Mewah > 1000 Menengah 500-1000 Umum 350-500	8-10	45-48	(setiap tempat tidur pasien) Pasien luar: 8 liter Staf/pegawai: 120 liter Keluarga pasien: 160 liter Guru: 100 liter Guru: 100 liter Guru/dosen: 100 liter Penghuni: 160 liter Setiap pegawai Pemakaian air hanya untuk kakus, belum termasuk untuk bagian restorannya. Per orang, setiap giliran (kalau kerja lebih dari 8 jam sehari)
6	Sekolah dasar	40	5	58-60	Setiap penumpang (yang tiba maupun berangkat)
7	SLTP	50	6	58-60	Untuk penghuni 160 liter
8	SLTA dan lebih tinggi	80	6		Untuk penghuni: 160 liter; pelayan: 100 liter; 70% dari jumlah tamu perlu 15 liter/orang untuk kakus, cuci tangan dsb.
9	Rumah-toko	100-200	8		Kalau digunakan siang dan malam, pemakaian air dihitung per penonton. Jam pemakaian air dalam tabel adalah untuk satu kali pertun- jukan.
10	Gedung kantor	100	8	60-70	—idem—
11	Toserba (toko serba ada, department store)	3	7	55-60	Pedagang besar: 30 liter/tamu, 150 liter/Staf atau 5 liter per hari setiap m ² luas lantai. Untuk setiap tamu, untuk Staf 120-150 liter; penginapan 200 liter. Didasarkan jumlah jemaah per hari. Untuk setiap pembaca yang tinggal. Setiap tamu Setiap tamu Setiap tempat duduk Setiap tamu Setiap Staf
12	Pabrik/industri	Buruh pria: 60 wanita: 100	8		
13	Stasiun/terminal	3	15		
14	Restoran	30	5		
15	Restoran umum	15	7		
16	Gedung pertunjukan	30	5	53-55	
17	Gedung bioskop	10	3		
18	Toko pengecer	40	6		
19	Hotel/penginapan	250-300	10		
20	Gedung peribadatan	10	2		
21	Perpustakaan	25	6		
22	Bar	30	6		
23	Perkumpulan sosial	30			
24	Kelab malam	120-350			
25	Gedung perkumpulan	150-200			
26	Laboratorium	100-200	8		

Sumber : Soufyan M. N. ; Morimura, Takeo.
Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing.

LAMPIRAN 5 :InformasiKetinggianGedungPusatRiset



atap

11 Ruang Serbaguna

10 Pusat Study Material & Nanotechnology

9 Pusat Study Sains Dasar & Terapan

8 Pusat Study Kelautan

7 Pusat Study (g) - Transportasi & Logistik

6 Pusat Study ITK & Robotika - Energy

5 R Siliang & Pusat Study PPLH

4 Kantor Pengelola Pusat Riset & PDPM

3 Pusat Study & Inovasi Berbasis

2 Gallery & Cafeteria

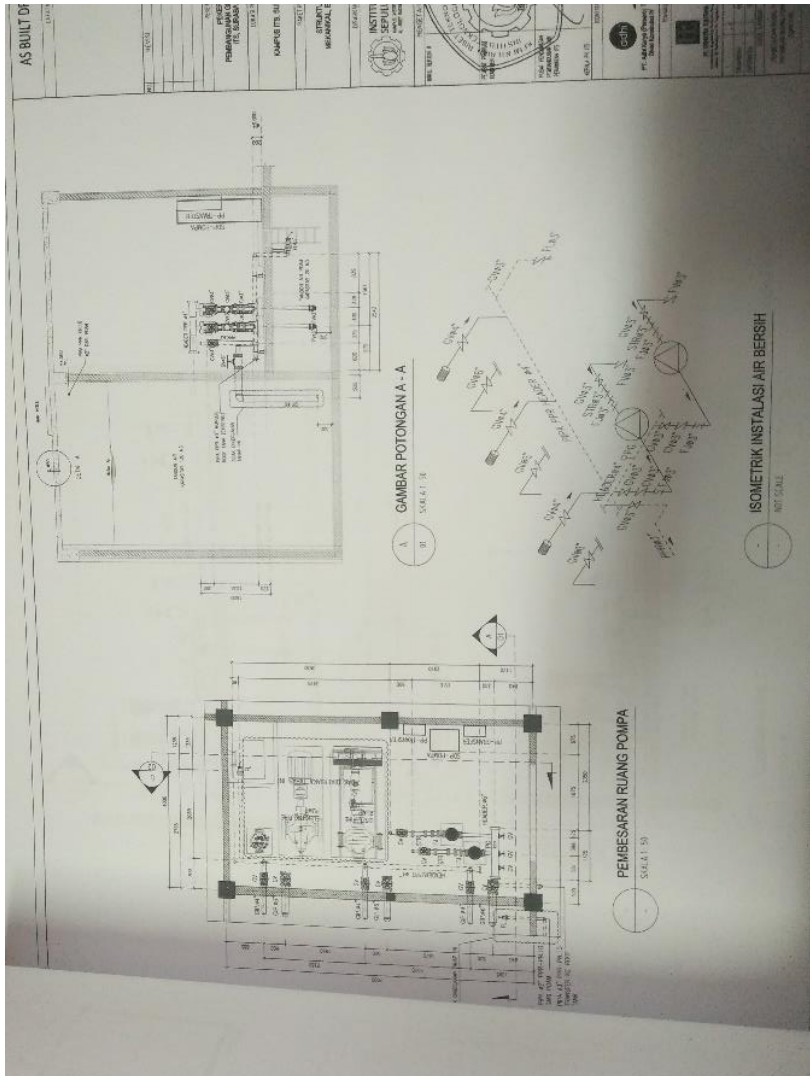
1 Area Parkir

POTONGAN SUMBU Y
SKALA 1 : 300

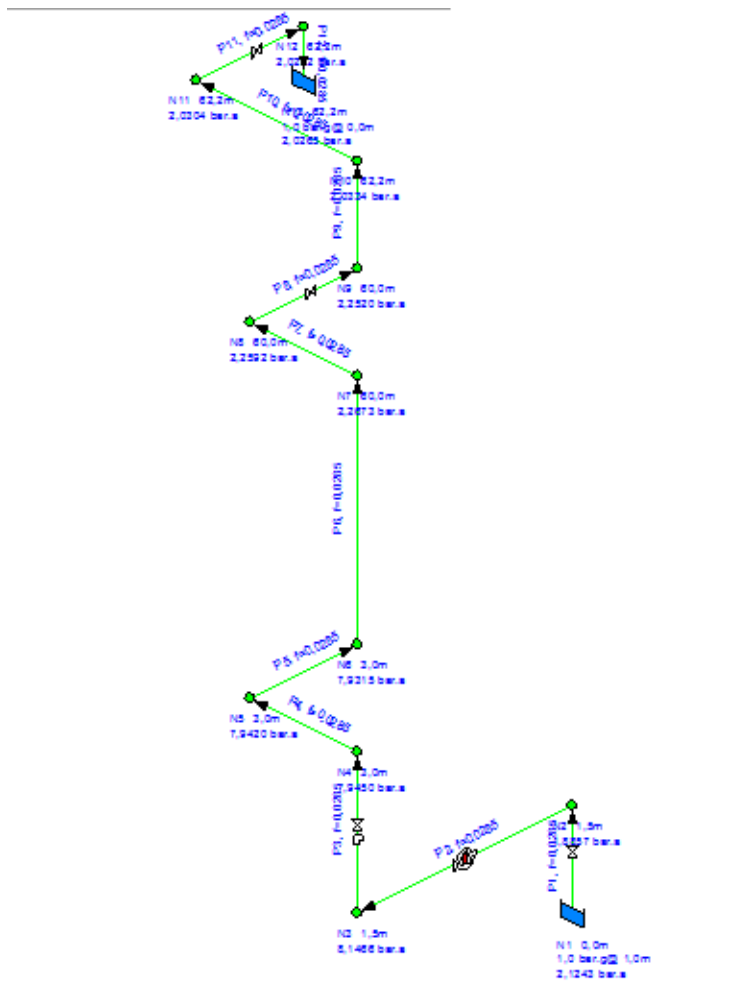
SKEMATIK INSTALASI PIPA AIR BERSIH

STP Kap. 60M³

LAMPIRAN 8 : Gambar Isometrik Reservoir Bawah



LAMPIRAN 9 : Gambar Instalasi Menggunakan *Software Pipe Flow Expert*



BIODATA PENULIS



Nisrina Safira Sari merupakan nama lengkap penulis tugas akhir ini. Penulis yang terlahir di Kediri, Jawa timur pada tanggal 28 Juni 1996 ini merupakan anak satu-satunya dari pasangan Ayah Susiantoro, dan Ibu Wulan Tjahjani.

Penulis memulai pendidikan formalnya dari TK Bhayangkari 41 Kediri, SDN Sukorame 2 Kediri, SMP Negeri 1 Kediri, dan SMA Negeri 2 Kediri.

Pada tahun 2014 penulis mengikuti ujian masuk Program Diploma ITS dan diterima sebagai mahasiswa di Program Studi D3 Teknik Mesin Reguler, Fakultas Teknologi Industri, ITS Surabaya yang sekarang berganti nama dengan Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi, ITS Surabaya dengan NRP 2114 030 050.

Di Program Departemen Teknik Mesin Industri, penulis mengambil bidang keahlian Konversi Energi dan mengambil tugas akhir dibidang yang sama dengan mata kuliah Pompa.

Selain itu penulis juga aktif di berbagai kegiatan dalam kampus maupun luar kampus. Seperti pelatihan-pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis selama menjadi mahasiswa, diantaranya adalah Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar (LKMM PraTD) FTI ITS, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar (LKMM TD) HMDM ITS, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Menengah (LKMM TM) FTI ITS , Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar (PJTD) HMDM ITS, serta menjadi staff Departemen Hubungan Mahasiswa HMDM ITS dan staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa FTI ITS.

Untuk semua informasi dan masukan ,dapat menghubungi penulis melalui e-mail : nisrinasafirasari@gmail.com